DER JUNGE FUNKER

Hagen Jakubaschk

Experimente für den Anfänger







1

Der junge Funker · Band 1

Experimente für den Anfänger

Hagen Jakubaschk

Experimente für den Anfänger



Deutscher Militärverlag

Redaktionsschluß: 1. März 1963

1.—10. Tausend
Deutscher Militärverlag, Berlin 1963
Lizenz-Nr. 5
Umschlaggestaltung: Wolfgang Brock
Zeichnungen: Holm Krüger
Fotos: Verfasser
Lektor: Sonja Topolov
Vorauskorrektor: Hans Braitinger, Korrektor: Evelyn Lemke
Hersteller: Jürgen Hecht
Gesamtherstellung:
Druckerei des Ministeriums für Nationale Verteidigung — 650/63/3619
Preis: 1,90 DM

Vorwort

Lieber Leser!

Sicher ist es Ihnen auch schon so ergangen: Irgendein Fachgebiet erregte Ihr Interesse. Sie beschafften sich einige Fachbücher und mußten feststellen, daß sie zu kompliziert waren; dann kam Ihnen vielleicht eine Bauanleitung in die Hand, und Sie versuchten, nach Vorlage zu basteln. Wenn Sie Glück hatten, klappte es, und das erbaute Gerät funktionierte sogar. Warum es aber arbeitete oder wo etwa ein Fehler lag, wenn es schiefging — kurz gesagt, die Antwort auf das Warum oder Wo, die wußten Sie nicht. Denn das Fachbuch und die Bauanleitung — beide setzten theoretische und praktische Grundkenntnisse voraus, die Sie nicht hatten. Wenn Sie aber gern kleine Versuche und Basteleien vornehmen, ohne daß jedem Experiment eine lange, trockene theoretische Erläuterung vorausgeht, wenn Sie sozusagen spielend einige erste Grundkenntnisse der Elektrotechnik erwerben wollen — dann finden Sie in diesem Büchlein zahlreiche Anregungen.

Die Vorgänge der Elektrotechnik sind theoretisch nicht leicht zu begreifen. Durch den Selbstaufbau einfachster Experimentierschaltungen — keine Sorge, das Material dazu kostet nur wenige Pfennige und ist in jedem Elektrogeschäft zu haben! — sammeln Sie jedoch bereits erste Erfahrungen im Aufbau von Schaltungen und im Lesen der zugehörigen Schaltzeichnungen. Gerade d i e Erfahrungen und Kenntnisse, die Sie als Grundlage für spätere eingehendere Betätigung auf diesem interessanten und vielseitigen Fachgebiet benötigen.

Dieses Heft soll besonders Schülern und Jungen Pionieren eine den Schulunterricht ergänzende Experimentalanleitung sein. Darüber hinaus ist es natürlich für jeden bestimmt, der sich jung genug zum Experimentieren fühlt.

Im Vordergrund steht also stets der praktisch durchführbare Versuch. Tiefere Zusammenhänge können hier nicht überall bis ins einzelne erläutert werden; auch ist es im

Rahmen dieses kleinen Bändchens nicht möglich, die gesamten Grundlagen der Elektrotechnik darzustellen. Beides bleibt den einschlägigen Lehrbüchern überlassen. Und sicher wird es Ihnen nach eingehender Beschäftigung mit dem hier gebotenen Stoff nicht mehr so schwerfallen, sich mit Hilfe geeigneter Amateurliteratur — von der im Anhang eine kleine, zum Inhalt dieses Büchleins passende und daran anschließende Auswahl genannt wird — näher mit der Elektrotechnik und besonders Funktechnik vertraut zu machen.
Zum Aufbau der Broschüre kurz noch folgendes: Bei jedem Versuch wird zunächst erläutert, womit er sich befassen soll. Ein zweiter Abschnitt ist der Versuchsdurchführung gewidmet und nennt Ihnen neben dem benötigten Material und dem praktischen Aufbau die kleinen Kniffe und Bedingungen, die für das Gelingen erforderlich sind. Im dritten Abschnitt schließlich werden Versuchsergebnis und Beobachtungen ausgewertet und erklärt. Wo es erforderlich ist, weist ein weiterer Abschnitt auf praktische Anwendungen, Ergänzungsversuche und ähnliches hin. Natürlich verzichten wir auf alle riskanten oder gar gefährlichen Experimente, denn Starkstromversuche beispielsweise sind nun einmal nichts für Anfänger. Aber auch ohne dies und ohne besonderen Aufwand bieten sich allerlei interessante Möglichkeiten. In diesem Sinne: Viel Spaß beim Experimentieren!

Brandenburg, im Dezember 1962 Hagen Jakubaschk

Inhaltsübersicht

A Die Wirkungen der Elektrizität

1. Wärmewirkung

1.1. Ein stromdurchflossener Draht erwärmt sich

Um zu zeigen, daß ein Draht vom durchfließenden Strom erwärmt wird, benötigen wir eine frische Taschenlampenbatterie (Flachbatterie für 4,5 V) und ein 3 bis 4 cm langes dünnes Kupfer- oder besser Eisendrähtchen. Ein geeignetes Drähtchen können wir zum Beispiel aus einem Stück Litze (Netzkabel elektrischer Geräte) herausziehen; auch dünner eiserner Blumenbindedraht eignet sich. Wir verbinden beide Pole der Batterie mit dem Drähtchen, wie Bild 1 zeigt. Zweckmäßig wird ein Drahtende fest um einen Pol gewickelt, das andere Ende mit einer Pinzette oder Wäschefederklammer an den anderen Batteriepol gehalten.
Der Draht glüht auf, sobald wir ihn an beide Pole halten. Die Pinzette verhütet ein Verbrennen der Finger. Wenn die Batterie ausreichend frisch und das Drähtchen dünn und kurz genug ist, kommt es in helle Glut und schmilzt schließlich.
Eine Anwendung dieses Prinzips ist die elektrische Wärmeplatte, eine andere die elektrische Glühlampe; in dieser wird der Draht bis zu heller Weißglut erhitzt. Damit er hierbei nicht verbrennt, ist er durch den luftleeren oder mit chemisch inaktivem Edelgas, zum Beispiel Argon, gefüllten Glaskolben gegen die Außenluft abgeschlossen. Eine andere Anwendung stellt die elektrische Sicherung dar. In der be-

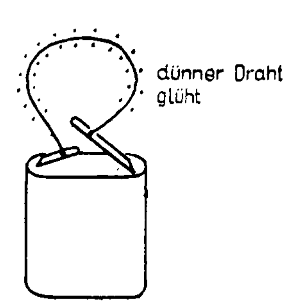
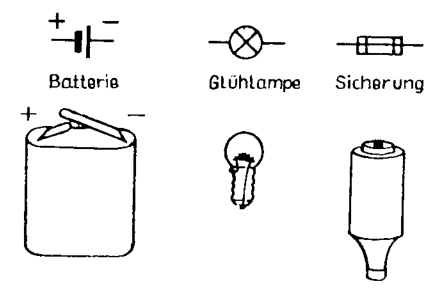


Bild 1
Ein dünner Draht glüht, wenn er vom Strom durchflossen wird

Bild 2
Einige der von uns benutzten Bauteile, darüber ihre Schaltzeichen



kannten Form als Schmelzsicherung enthält sie ein dünnes Drähtchen, das in den zu schützenden Stromkreis eingeschaltet ist. Wird der fließende Strom zu stark, dann schmilzt der Sicherungsdraht durch und unterbricht den Strom. Wir können das mit einer für wenige Pfennige erhältlichen kleinen Radiosicherung für etwa 0,1 bis 0,3 Ampere nachprüfen. Halten wir sie an Stelle des Drähtchens in Bild 1 an die Batterie, so glüht das Schmelzdrähtchen im Innern der Sicherung auf und schmilzt. Dadurch wird der Strom unterbrochen, und die abgeschmolzenen Enden erkalten demzufolge wieder.
Wir prägen uns bei diesem Versuch bereits einige Schaltzeichen ein. Diese Symbole werden benutzt, um Stromläufe übersichtlich und in einheitlicher Form darzustellen. Bild 2 zeigt die von uns soeben benutzten Gegenstände: Batterie bzw. allgemein Stromquelle auf elektrochemischer Basis (links), Glühlampe allgemein (Mitte) und Sicherung (rechts).

1.2. Ein Stromkreis muß geschlossen sein, damit Strom fließen kann

Wir benötigen eine Taschenlampenbatterie und eine dazu passende Taschenlampenbirne, die wir miteinander verbinden, wie Bild 3 zeigt. Der Erfolg ist der gleiche, wenn wir – wie in Bild 3 angedeutet — 2 kurze Drähte als „Leitungen“ zwischen Batterie und Lämpchen schalten. Die beiden Enden des Glühdrähtchens in der Birne sind (vgl. Bild 2, Mitte) an Gewinde und Fußkontakt des Lampensockels angeschlossen. Der Strom fließt nun von einem Batteriepol (z. B. vom

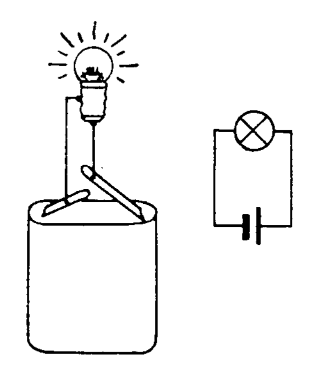


Bild 3
Ein einfacher Stromkreis, bestehend aus einem Glühlämpchen und einer Batterie. Links in modellhafter Skizze, rechts die entsprechende Schaltzeichnung

Pluspol, vgl. Bild 2, links) zum Gewinde, von da durch den Glühdraht, zum Fußkontakt und zurück zum Minuspol der Batterie, innerhalb der Batterie von da wieder zum Pluspol. Wird dieser Kreislauf an beliebiger Stelle unterbrochen, indem wir etwa einen der beiden Leitungsdrähte durchtrennen, so kann kein Strom mehr fließen, die Lampe erlischt. — Bild 3 zeigt links die Versuchsanordnung, rechts die gleiche Darstellung unter Benutzung der Schaltsymbole — die Schaltzeichnung. Bei der Schaltzeichnung werden die einzelnen Symbole so zueinander angeordnet, daß sich die übersichtlichste Darstellung ergibt. Die Schaltzeichnung zeigt daher nur die Stromwege, sagt aber nichts über die tatsächliche Form und Lage der Bauteile und den tatsächlichen räumlichen Leitungsverlauf aus!
Stromwirkungen treten nur dann auf, wenn ein Strom fließt. Sie können daher durch Unterbrechen und Schließen des Stromkreises beliebig herbeigeführt werden. In der Praxis

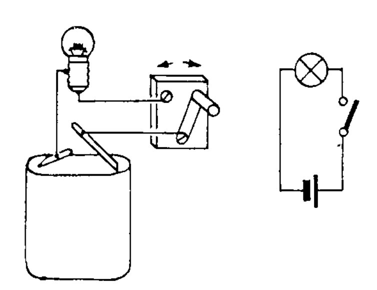


Bild 4
Damit ein Strom fließt, muß der Stromkreis geschlossen sein. Der Stromkreis wird hier mit einem Schalter unterbrochen. Links der Aufbau, rechts die Schaltzeichnung mit dem Schaltsymbol für den Schalter

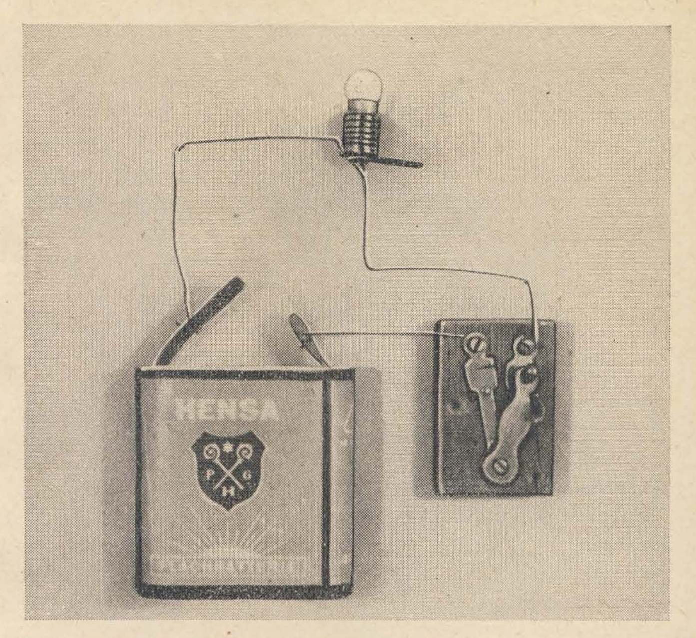


Bild A Praktischer Versuchsaufbau zum Versuch nach Bild 4, vergleiche dort. Schalter geschlossen: Lampe brennt

benutzt man zum Unterbrechen von Stromkreisen Schalter, die in den Stromkreis eingeschaltet werden, wie in Bild 4 dargestellt (links). Für unsere Zwecke ist ein sogenannter Klingelausschalter am besten geeignet. Durch Verschieben des Hebelarmes kann der Stromkreis geschlossen oder unterbrochen werden. Alle üblichen technischen Schalter arbeiten – obwohl sie meist komplizierter aufgebaut sind – nach dem gleichen Prinzip. Bild 4 zeigt rechts wieder die Schaltzeichnung und das Symbol für den Schalter – der hier in Stellung „geöffnet, Aus“ gezeichnet ist. Der Erfolg bleibt der gleiche, wenn wir den Schalter nicht in die rechte, sondern in die linke Lampenleitung zwischen Pluspol der Batterie und Gewinde des Lämpchens einschalten.

Ergänzend sei hier erwähnt, daß Strom ein Elektronenfluß, das heißt eine geordnete Bewegung freier Elektronen im

Atomgefüge der Leitungen ist. Die Elektronen strömen stets vom Minuspol zum Pluspol (in älteren Fachbüchern findet man jedoch oft noch die umgekehrte Richtung angegeben). Die Erklärung dieser Zusammenhänge aber geht über den hier gegebenen Rahmen hinaus, und für unsere Zwecke ist es gleichgültig, ob wir die Stromflußrichtung von Plus nach Minus oder umgekehrt annehmen. Ein frühzeitiges Gewöhnen an die tatsächliche Elektronenflußrichtung vom Minus- zum Pluspol erleichtert jedoch das spätere Verständnis komplizierterer Bauteile (Radioröhren, Transistoren usw.).

2. Magnetische Wirkungen

2.1. Remanenter Magnetismus

Magnetisches Verhalten verschiedener Metalle – Für diesen Versuch brauchen wir einen Dauermagneten, wie sie als Hufeisenmagnete für Spielzeugzwecke erhältlich sind. Auch Dauermagnete alter Lautsprecher eignen sich dafür. Mit dem Magneten bestreichen wir einen Kupferstift (Kupferblechstreifen oder Kupferdrahtstück), einen Weicheisenstift (Eisendrahtstück o. ä.), und einen Stahlstift (Stahlnagel) mehrmals in einer Längsrichtung. An Stelle des Stahlnagels kann auch ein alter Schraubenzieher mit Stahlklinge benutzt werden. Kupfer ist völlig unmagnetisch, wir können keinerlei Anziehungskraft feststellen. Eisen und Stahl zeigen deutliche Anziehungswirkung. – Nachdem wir den Magneten beiseite gelegt haben, können wir feststellen, daß der Stahlstift jetzt seinerseits kleine Eisen- oder Stahlteilchen (Stecknadeln!) anzieht. Er ist durch das Bestreichen mit dem Magneten selbst magnetisiert, also zum Magneten geworden. Diese bleibende Magnetkraft heißt remanenter Magnetismus, entsprechende Magneten nennt man Permanentmagneten. – Weicheisen wird zwar von Magneten angezogen, seine Magnetkraft verschwindet jedoch sofort wieder beim Aufhören der Einwirkung des fremden Magnetfeldes. Der Weicheisenstift zeigte daher zwar ebenso wie der Stahlstift Magnetwirkung beim Bestreichen mit dem Permanentmagneten. Im Gegensatz zum Stahlstift vermag er aber auf

Stecknadeln und ähnliches keine bleibende Anziehungskraft auszuüben. – Kupfer, das bereits keine Anziehungskraft gegenüber dem Permanentmagneten zeigte, weist erwartungsgemäß auch danach keine Magnetwirkung gegenüber anderen Eisenteilen auf. Kupfer ist also völlig unmagnetisch. Das gleiche gilt auch für Messing, Blei, ja für die Mehrzahl der Metalle.
In einem Zusatzversuch glühen wir den soeben magnetisierten Stahlstift in einer Gasflamme aus. Sein Magnetismus ist danach verschwunden: Permanentmagneten, die auf Glühtemperatur erhitzt werden, verlieren ihren Magnetismus. Nach Erkalten können sie durch Bestreichen mit einem Permanentmagneten wieder magnetisiert werden; wir prüfen das mit Magnet und ausgeglühtem Stahlstift leicht nach. Beim Arbeiten versehentlich magnetisch gewordene Schraubenzieher können also durch Ausglühen von ihrem Magnetismus befreit werden. Ein magnetischer Schraubenzieher eignet sich übrigens gut dazu, eiserne Schrauben in Löcher an schlecht zugänglichen Gerätestellen „einzufädeln“.

2.2. Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier Magnete

Wir benötigen 2 gleiche Permanentmagnete, eventuell eignen sich auch schon 2 gleiche Stahlstifte, die beide (wie im vorigen Abschnitt beschrieben) magnetisiert werden. An üblichen Magneten sind beide Magnetpole unterschiedlich gekennzeichnet, sie werden als Nordpol und Südpol bezeichnet. Unsere Stahlnägel bestreichen wir in gleicher Richtung, so daß beide Kuppen beziehungsweise beide Spitzen gleiche Pole darstellen. Wenn wir diese beiden Magnete – oder 2 andere gleichartige Magnete – einander so nähern, daß sich gleiche Pole begegnen, dann bemerken wir deutlich eine abstoßende Wirkung. Nähern sich ungleiche Pole, so tritt eine verstärkte Anziehung zutage. Wir merken uns:
Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.
Bekanntlich hat auch die Erde ein Magnetfeld, das ungefähr in Richtung der Erdachse verläuft. In Nähe des geografischen Nordpols liegt der magnetische Südpol der Erde, in

Nähe des geografischen Südpols demzufolge der magnetische Nordpol. Die Kompaßnadel eines üblichen Magnetkompasses (z. B. Schülerkompaß) besteht aus einer magnetisierten Stahlnadel, stellt also nichts anderes dar als einen drehbar gelagerten, kleinen stabförmigen Permanentmagneten, dessen dunkler gefärbter Teil sein Nordpol ist. Da ungleichnamige Pole sich anziehen, weist diese Nadelseite also immer zum magnetischen Südpol der Erde und damit fast genau zum geografischen Nordpol. Halten wir einen Permanentmagneten, der wesentlich stärker ist als das relativ schwache Erdmagnetfeld, in die Nähe der Kompaßnadel, so weist diese mit ihrem Nordpol zum Südpol des Permanentmagneten.
Wir können einen Kompaß selbst herstellen, indem wir eine Stahlnadel durch Bestreichen mit einem Permanentmagneten – wie im vorigen Abschnitt beschrieben – selbst magnetisieren. Hierzu benutzen wir ein wenige Zentimeter langes Uhrfederstück, das wir zuvor durch Ausglühen und Hämmern strecken. Genau im Mittelpunkt (Schwerpunkt durch Ausbalancieren auf einer Stecknadelspitze ermitteln) schlagen wir mit einer Nagelspitze oder einem Körner eine leichte Vertiefung ein, in der das Blech auf eine senkrecht stehende Stecknadel (ein Flaschenkork bildet den Fuß für sie) leicht drehbar aufgesetzt wird. Anschließend magnetisieren wir das Blech. Auf die Nadelspitze gesetzt, stellt es sich wie jede Kompaßnadel in Nordsüdrichtung ein.
In den vorangegangenen zwei Abschnitten lernten wir die wesentlichsten Eigenschaften des Magnetismus kennen. Im folgenden werden wir sehen, daß zwischen Elektrizität und Magnetismus ein enger, untrennbarer Zusammenhang besteht.

2.3. Jeder Stromfluß bewirkt gleichzeitig das Entstehen eines Magnetfeldes, das heißt, jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben

Zum experimentellen Beweis benötigen wir eine frische Taschenlampenbatterie (Flachbatterie 4,5 V), einen starken Draht, ein Pappblatt (Postkarte o. ä.) und ein wenig möglichst feines Eisenpulver, das wir entweder in Chemikalienhandlungen oder als Feilstaub in einer Schlosserei bekom-

men. Das waagerecht gehaltene Pappblatt wird senkrecht von dem Draht durchstoßen. Durch den Draht lassen wir — nachdem rund um den Draht etwas Eisenpulver aufgestreut ist — den Batteriestrom fließen, wie Bild 5 zeigt. Gleichzeitig klopfen wir leicht an die Pappe. Das Eisenpulver ordnet sich in konzentrischen Ringen um den Draht an. Falls wir einige genügend kleine Magnetnadeln haben (evtl., wie oben beschrieben, selbst herstellen!), können wir sie ebenfalls neben dem Draht anordnen; sie nehmen dann beim Einschalten des Stromes die angedeuteten Stellungen ein (in Richtung der vom Eisenstaub gebildeten Ringlinien).

Dieser Versuch gelingt nur, wenn der Stromfluß im Draht hinreichend stark ist, also mit frischer Batterie. Da sie sehr belastet wird, führen wir den Versuch stets nur kurzzeitig durch. Noch besser gelingt der Versuch mit stärkeren Batterien, zum Beispiel einem kleinen Bleiakku (Motorradakku). Hierbei ist etwas Vorsicht geboten, da der Strom dann leicht so stark wird, daß die Drähte — die wenigstens 1 mm dick sein sollen — zu glühen beginnen (siehe Versuch A — 1.1.). Wir schalten den Strom immer nur sekundenweise ein, da auch der Akku sonst leicht beschädigt werden kann.

Das Eisenpulver ordnet sich längs der magnetischen Kraftlinien, aus denen das durch den Stromfluß gebildete Magnetfeld besteht. Bei abgeschaltetem Strom werden die Ringfiguren durch leichtes Klopfen sofort wieder verwischt: Das

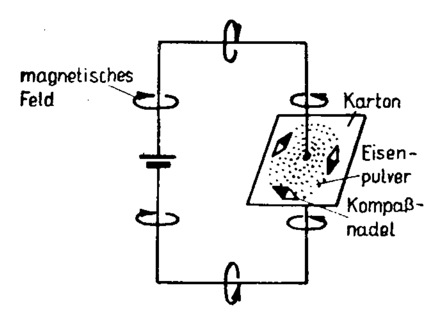


Bild 5 Ein stromdurchflossener Leiter — hier ein Draht — erzeugt ein magnetisches Kraftlinienfeld um sich (durch die Pfeile an einigen Stellen angedeutet). Durch auf den Karton aufgestreutes Eisenpulver oder aufgesetzte Magnetnadeln kann es sichtbar gemacht werden. Die Batterie ist nur mit ihrem Schaltzeichen angedeutet

Magnetfeld ist nur bei fließendem Strom vorhanden. Es bildet sich ringförmig um den Draht aus, wie auch die Magnetnadeln zeigen. Wenn wir die Stromrichtung umkehren (Batteriepole vertauschen), ändert sich auch der „Drehsinn“ des Magnetfeldes, die Magnetnadeln drehen sich dann um 180°. Am Eisenpulver ist dieser „Drehsinn“ nicht erkennbar. Die Pfeile in Bild 5 deuten das um den ganzen Leiter vorhandene Magnetfeld an. Zwischen Drehsinn und Stromrichtung besteht ein fester Zusammenhang, der uns hier aber nicht näher interessieren soll. Die Nadel eines in die Nähe der Leitung gebrachten Kompasses wird ebenfalls deutlich von ihrer Richtung abgelenkt. Die in Bild 5 gekennzeichneten Kompaßnadeln stellen sich bei Abschalten des Stromes sämtlich wieder in Richtung des Erdmagnetfeldes ein. Da dieses während des Versuches natürlich stets zusätzlich wirkt, nehmen die Nadeln während des Stromflusses oft nicht genau die gezeichnete Stellung, sondern – wenn der Strom und damit auch das Magnetfeld um den Draht zu schwach ist – eine Zwischenstellung (Resultierende aus Erdmagnetfeld und Magnetfeld des Drahtes) ein.

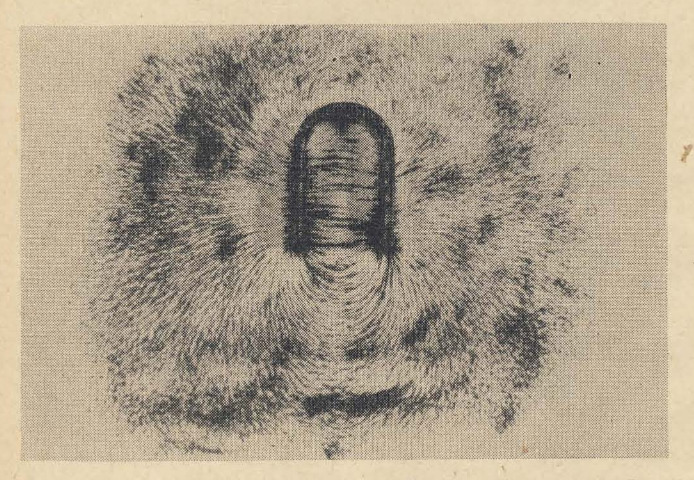


Bild B Das magnetische Kraftlinienfeld eines Hufeisen-Permanentmagneten, sichtbar gemacht durch Aufstreuen von Eisenpulver. Das Eisenpulver soll gleichmäßig dünn aufgestreut werden; anschließendes, leichtes Anklopfen des Papiers ergibt deutlichere Abbildung

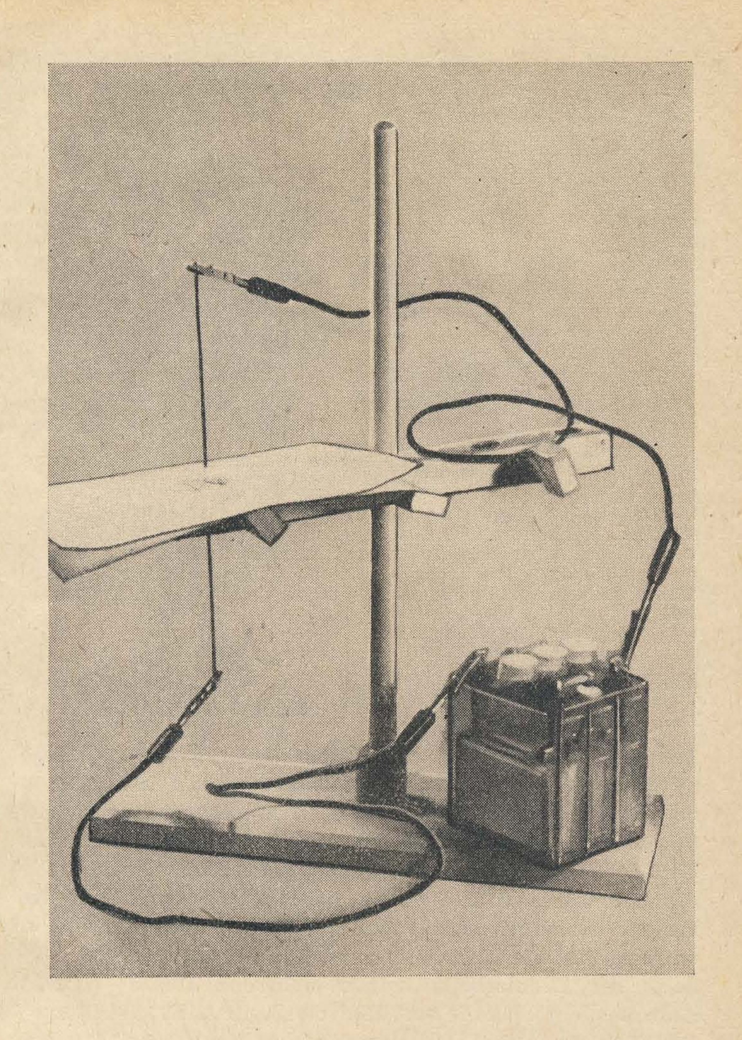


Bild C Versuchsaufbau zum Versuch nach Bild 5 (vergleiche den zugehörigen Textabschnitt A-2.3.). Als Stromquelle dient hier ein Akkumulator. Der senkrechte Leiter (Stricknadel) führt durch ein Papierblatt, rund um ihn ist Eisenpulver aufgestreut

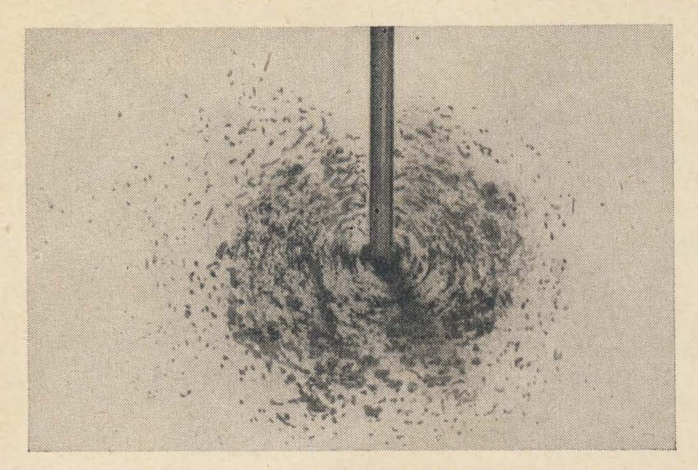


Bild D Rund um den Leiter (Bild C und Bild 5) bildet sich ein kreisförmiges Magnetfeld aus, das allerdings je nach der praktisch im Versuch erzielbaren Stromstärke nur schwach und mit Eisenpulver nur in Nähe des Leiters nachweisbar ist (leicht an das Papier klopfen!). Dieses Magnetfeld besteht ebenso auch um die losen Leitungen in Bild C

2.4. Wenn der Draht aus Bild 5 zu einer Spirale aufgewickelt wird, so verstärkt sich das Magnetfeld

Bild 6 erläutert dies. Bei a) ist der einfache Draht aus Bild 5 mit seinem Magnetfeld angedeutet. Biegen wir ihn zu einer Schleife (Bild 6b), so laufen die Kraftlinien im Innern der Schleife in gleicher Richtung, ihre Wirkung addiert sich also. Praktisch ließe sich das zeigen, indem diese Schleife an Stelle des Drahtes in Bild 5 durch die Pappe gesteckt und der vorige Versuch wiederholt wird. Das Eisenpulver bildet dann um beide Drähte Kraftlinienringe, die zwischen den „Schenkeln" der Drahtschleife zusammenlaufen. Durch weiteres Aufrollen der Schleife aus Bild 6b ergibt sich die „Spule" nach Bild 6c. Der Kraftlinienverlauf in ihr – bei Stromfluß durch die Spule – ist angedeutet, ebenso die Stellung, die eine an verschiedenen Stellen angenäherte Kompaßnadel einnimmt.
Eine Spule, die ein kräftiges Magnetfeld erzeugt, erhalten wir durch Aufbringen von möglichst vielen Windungen

Draht. Wir umwickeln eine leere Garnrolle mit dünnem, isoliertem Draht, den wir zum Beispiel durch Abwickeln defekter Spulen beliebiger Art gewinnen – in Werkstätten aus der Schrottkiste billig erhältlich, etwa alte Radiotrafos und Radiodrosselspulen. Der Draht soll nicht zu dünn sein, andererseits noch so schwach, daß wir zumindest 100 bis 200 Windungen auf der Garnrolle unterbringen. Diese Spule schließen wir über einen Schalter an die Batterie (Taschenlampenbatterie 4,5 V), wie Bild 6d zeigt. Neben den Schaltsymbolen für Batterie und Schalter, die wir bereits kennen, sehen wir dort das sich leicht einprägende Symbol für die Spule. Der Schalter ist zunächst offen, es fließt also kein Strom, die Spule zeigt kein Magnetfeld. Einige in ihrer Nähe befindliche Kompaßnadeln (Abstand von der Spule 1 bis 2 cm) stellen sich daher in Richtung des Erdmagnetfeldes ein. Sobald wir den Schalter schließen (Bild 6e), wird die Spule magnetisch, und die Kompaßnadeln stellen sich nach deren Kraftlinienfeld (vgl. Bild 6c) ein. Wir bemerken, daß

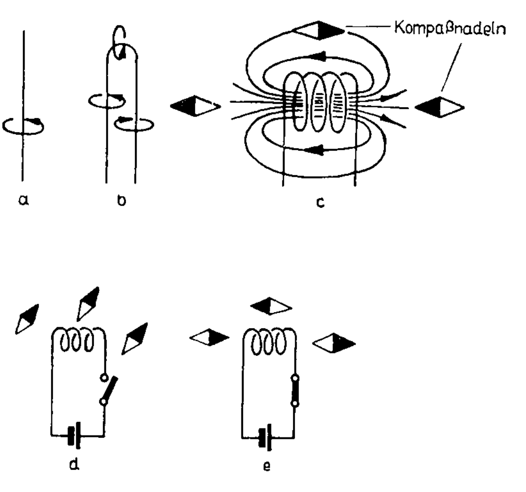


Bild 6 Durch Aufwickeln des Leiters zu einer Spule wird das Magnetfeld konzentriert und damit verstärkt; a) der gerade Leiter aus Bild 5; b) der Leiter wird zu einer Schleife gebogen; c) durch weiteres Aufwickeln konzentrieren sich die Kraftlinien im Innern der so entstandenen Spule

der Kompaß jetzt gegenüber dem einfachen Draht weit kräftiger beziehungsweise auf größere Entfernung beeinflußt wird. Probeweise wiederholen wir den Versuch, wobei die Windungszahl der Spule auf den halben Wert verringert oder auf das Doppelte erhöht wird. Außerdem probieren wir bei gleichbleibender Windungszahl einmal mit einer alten, halbverbrauchten Batterie (die z. B. in der Taschenlampe nur noch wenig Licht liefert) und danach mit einer frischen Batterie.

Wir stellen fest, daß das Aufwickeln des Drahtes das Magnetfeld beträchtlich verstärkt. Es ist um so stärker, je mehr Windungen die Spule hat oder je stärker der durch die Spule fließende Strom ist. Wir merken uns:

Die Stärke des Magnetfeldes einer Spule hängt erstens von der Windungszahl, zweitens von der Stromstärke ab. Fließt kein Strom, dann ist auch kein Magnetfeld vorhanden.

Mit Spule und Kompaßnadel ist ein Hilfsmittel zum Nachweis eines Stromflusses gegeben. Wenn die Spule genügend viele Windungen hat und das Magnetfeld möglichst unmittelbar auf die Kompaßnadel einwirken kann, erzielt man bereits mit schwachen Strömen in der Spule eine deutliche Ablenkung der Kompaßnadel. Wir nutzen diesen Effekt aus, um

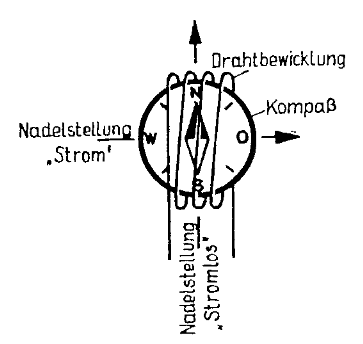


Bild 7 Das „Kompaß-Galvanometer", ein Hilfsmittel für unsere Versuche zum Nachweis von Strömen. Ein kleiner Kompaß befindet sich im Innern einer aufgewickelten Spule. Die Magnetnadel wird dann schon bei geringen Strömen deutlich sichtbar abgelenkt. Bei stromloser Spule stellt sie sich stets in Nordsüdrichtung der Erde ein. Wir stellen das Kompaß-Galvanometer beim Gebrauch immer so auf, daß die Magnetnadel bei stromloser Spule in der gezeichneten Stellung quer zur Spulenachse steht

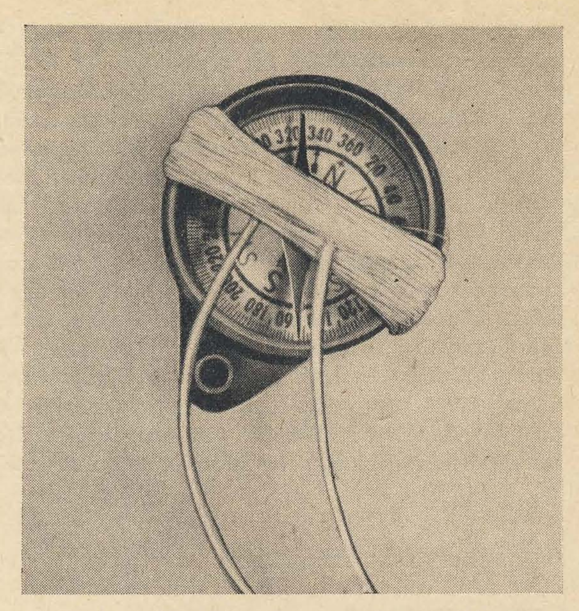


Bild E Das „Kompaß-Galvanometer" nach Bild 7, ein wichtiges Hilfsmittel für unsere Versuche. Ein einfacher Nadelkompaß erhält eine Drahtwicklung. Hiermit sind bereits schwache Ströme durch Auslenkung der Kompaßnadel nachweisbar. Die Anzahl der Drahtwindungen wird je nach beabsichtigter Anwendung bemessen. Für schwächere Ströme: höhere Windungszahl

für unsere weiteren Versuche einen Stromindikator zu bauen, mit dem wir auch schwache Ströme nachweisen können. Hierzu besorgen wir uns einen einfachen Taschenkompaß (Schülerkompaß), den wir mit möglichst vielen Windungen eines dünnen Drahtes (z. B. von alten Radiodrosselspulen) bewickeln, wie Bild 7 schematisch andeutet. Mit einem Stückchen um den Kompaßrand gewickelten Klebeband bewahren wir die Wicklung vor dem Abrutschen. Die Kompaßnadel können wir durch seitliches Einblicken noch gut erkennen. Sie befindet sich jetzt im Innern der Spule und damit an der Stelle, wo das Magnetfeld der Spule am engsten gebündelt ist, also am stärksten wirkt. Die Nadel ist dann bei stromführender Spule bestrebt, sich in Längsrichtung zur

Spulenachse zu stellen. Beim Gebrauch legen wir dieses „Kompaß-Galvanometer" (so genannt, weil das Funktionsprinzip dem Galvanometer, einem empfindlichen Strommeßgerät in Technik und Forschung, entspricht) so hin, daß die Magnetnadel, die sich bei stromloser Spule in Nordsüdrichtung der Erde einstellt, jetzt quer zur Spulenachse steht. Bereits geringe Ströme bewirken dann ein sichtbares Auslenken der Nadel, dessen Maß einen ungefähren Rückschluß auf die Stärke des Stromes zuläßt. Da die Seite, nach der die Nadel ausgelenkt wird, von der Stromrichtung in der Spule abhängt, können wir auch diese feststellen. Wir merken uns zum Beispiel bei einer Batterie mit bekannten Polen (bei Taschenlampen-Flachbatterien ist die kurze Anschlußfahne immer der Pluspol) die Ausschlagsrichtung und kennzeichnen die Enden der Kompaßwicklung farbig. Damit kann dann jederzeit die Polarität einer Batterie festgestellt werden.

3. Chemische Wirkungen

Nachdem wir unter 1. die Wärmewirkung und unter 2. die Magnetwirkungen des Stromes gesehen haben, soll an einem Beispiel die chemische Wirkung demonstriert werden.

3.1. Flüssigkeiten, die den Strom leiten, werden durch die Stromeinwirkung chemisch zersetzt. Flüssigkeiten, die den Strom nicht leiten, werden nicht verändert

Wir benötigen ein normales Becherglas und 2 Metallplatten beliebiger Art (Kupferblech gut geeignet) mit blanker Oberfläche; Maße je Platte etwa 2 · 4 cm. In das Becherglas stellen wir beide Platten so, daß sie sich nicht berühren, und verbinden jede Platte mit einem Pol der Batterie (4,5-V-Taschenlampenbatterie). Bild 8 zeigt den Aufbau schematisch. Um festzustellen, ob ein Strom fließt, können wir in eine der Batteriezuleitungen noch unser Kompaß-Galvanometer (Bild 7) einschalten (in Bild 8 nicht gezeichnet). Wir füllen das Gefäß zunächst mit Öl beliebiger Art (Fahrradöl, Haushaltsöle). Es geschieht nichts, solange wir den Versuch auch

fortsetzen. Ein in die Batterieleitung eingeschaltetes Kompaß-Galvanometer zeigt keinen Strom an (Einschaltung vgl. S. 33).

Wir ersetzen das Öl jetzt durch Leitungswasser, dem wir einen knappen Teelöffel Haushaltsessig oder einige Tropfen Zitronensaft beigeben. Ein eingeschaltetes Kompaß-Galvanometer zeigt jetzt einen Stromfluß an; das Wasser leitet den Strom also von einer Blech-„Elektrode“ zur anderen. Nach einiger Zeit beobachten wir an beiden Elektroden die Bildung von Gasbläschen, die dann bald aufsteigen. An der mit dem Minuspol der Batterie verbundenen Elektrode entstehen bedeutend mehr Bläschen als an der mit dem Pluspol verbundenen Elektrode. Wenn wir den Versuch lange genug fortsetzen und für die Elektroden Kupferblechstreifen (evtl. auch Messing) benutzen, so stellen wir fest, daß die Minus-Elektrode (sie wird mit dem Fachausdruck „Katode“ bezeichnet) blank bleibt, die Plus-Elektrode (die „Anode“) sich jedoch allmählich schmutzigbräunlich verfärbt. Später setzt sich sogar grünlichbrauner Schlamm am Gefäßboden ab.

In einem dritten Versuch ersetzen wir das angesäuerte Wasser durch chemisch reines destilliertes Wasser (als „Aqua destillata“ in Apotheken erhältlich). Hierbei stellen wir fest, daß wie bei dem Ölversuch kein Strom fließt, also auch keinerlei Wirkung eintritt. Um diesen Versuch gelingen zu lassen, müssen jedoch beide Elektroden peinlich sauber und blank sein; zweckmäßig werden sie vorher mit Schmirgelleinen blank geschliffen und anschließend mit destilliertem Wasser mehrmals gut abgespült. Auch das Becherglas wird zuvor mehrmals mit destilliertem Wasser gut ausgespült.

Öl leitet den elektrischen Strom nicht, wie der erste Versuch zeigte. Es wird daher in der Technik als Isoliermittel be-

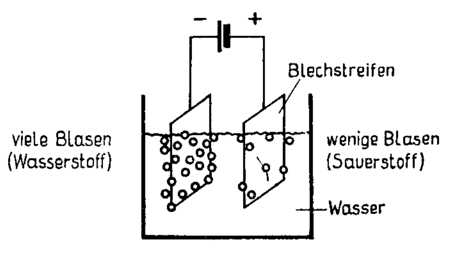


Bild 8
Versuchsaufbau eines „galvanischen Bades“ für elektrochemische Versuche. Erklärung im Text

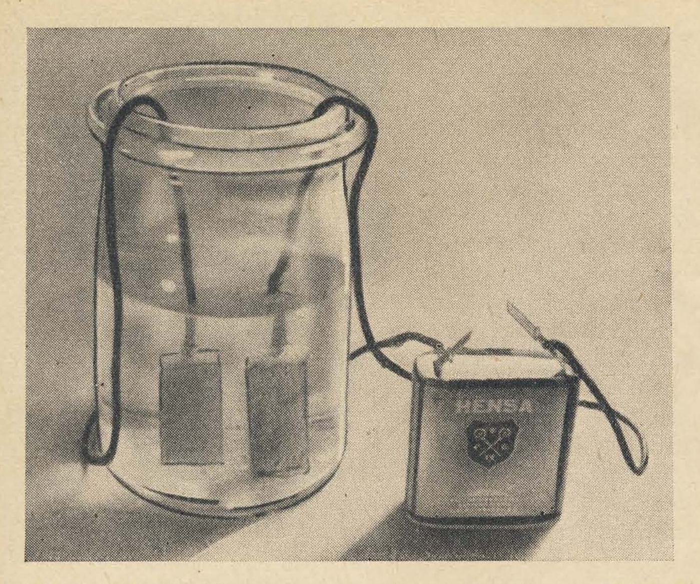


Bild F Versuchsaufbau eines „galvanischen Bades" nach Bild 8. Ein wassergefülltes Einweckglas oder ähnliches enthält 2 Blech-„Elektroden". Die rechte Elektrode ist mit dem rechten Batteriepol (Minuspol) verbunden und zeigt stärkere Bildung von Gasbläschen als die linke (Plus-)Elektrode

nutzt. Chemisch reines Wasser leitet den Strom ebenfalls nicht, jedoch bewirken hier schon kleine Mengen von Verunreinigungen, insbesondere von Säuren und Metallsalzen (wir können an Stelle Essig auch etwas Kochsalz, Kupfersulfat, Eisensulfat usw. in das Wasser tun), daß es leitend wird. Die Erklärung dieser Vorgänge führt über den Rahmen dieses Büchleins hinaus, sie gehört ins Reich der Chemie. Wir stellen lediglich fest, daß das Wasser durch den Strom in seine Bestandteile, die chemischen Elemente Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt wird. Die chemische Formel des Wassers lautet H_2O, das Wasser enthält also doppelt soviel Wasserstoff (H) wie Sauerstoff (O). Beide Elemente sind gasförmig und steigen daher als Gasbläschen an den Elektroden auf, wobei sich der Wasserstoff am Minuspol, der Sauerstoff am Pluspol abscheidet. Oft gelingt der Versuch schon mit

Leitungswasser ohne Zusatz anderer Stoffe, da Leitungswasser meist etwas kalkhaltig und — in Stadtleitungsnetzen — auch chlorhaltig ist. Diese Beimengungen reichen bereits aus, das Wasser mehr oder weniger gut leitend zu machen. Der an der Anode entstehende Sauerstoff reagiert nun chemisch mit dem Kupfer und oxydiert dieses rein chemisch zu Kupferoxyd, das die allmähliche braune Absonderung ergibt, die chemische Nebenwirkung unseres Versuches. Auch die Bildung des Bodenschlammes nach längerer Zeit beruht auf Nebenwirkungen, da die anderen Beimengungen des Wassers ebenfalls durch den Strom beziehungsweise durch die Zersetzungsprodukte des Wassers mit zersetzt werden.
Eine experimentelle Anwendung dieses Versuches ist die Polprüfung von Batterien. Da der Minuspol stets an der stärkeren Gasbildung erkennbar ist, können wir auf diesem Wege den Minus- und Pluspol bei nicht gekennzeichneten Batterien ermitteln. In der Industrie hat dieses „Elektrolyse" genannte elektrochemische Verfahren große Bedeutung, beispielsweise bei der Aluminiumgewinnung. Auch zum Veredeln von Metalloberflächen („galvanische Bäder" in der Metallindustrie) wird es benutzt. Einen solchen Versuch können wir zusätzlich durchführen.
Wir ersetzen dazu die beiden Elektrodenbleche in Bild 8 einmal durch blankgeschmirgelte Eisenbleche, danach durch Kohlestiftelektroden. Die Kohlestifte erhalten wir durch Ausbau aus alten Batterien (siehe Kapitel F). Im Wasser wird jetzt reichlich Kupfersulfat aufgelöst, so daß eine tiefblaue Lösung entsteht. Nachdem der Strom einige Zeit durch unser „galvanisches Bad" geflossen ist, stellen wir fest, daß sich am Minuspol — an der Katode — eine dünne Schicht metallischen Kupfers absetzt, die mit zunehmender Dauer des Versuches stärker wird. Wir haben die Katode „galvanisch verkupfert" und können, wenn der Kupferüberzug hinreichend fest sitzt, unmittelbar am Kohlestift einen Draht anlöten. Das wird nicht gleich beim erstenmal gelingen. Ist der fließende Strom zu stark, so scheidet sich das Kupfer zu schnell ab und bildet dann einen lockeren, schwammigen, schwärzlichen Belag, der leicht abwischbar und nicht einmal sofort als Metall erkennbar ist. Wir müssen es dann mit einer schwächeren Batterie, etwa mit einer 1,5-V-Monozelle, einem 2-V-

Trockenakku oder einer 3-V-Stabbatterie, probieren und auch die Konzentration der Lösung verändern. Dann aber erhalten wir einen schönen Metallüberzug, der sich sogar polieren läßt. – Versilbern können wir ebenfalls, wenn wir an Stelle des Kupfersulfates Silbernitrat im Wasser auflösen. Beide Chemikalien gibt es in den einschlägigen Geschäften; Silbernitrat ist allerdings nicht billig. Wenn wir das „galvanische Bad“ nicht nur für Versuchszwecke verwenden wollen, ist es vorteilhaft, die Anode aus dem gleichen Metall zu bilden, das wir an der Katode abscheiden wollen: beim Verkupfern also ein Kupferblechstück, beim Versilbern eine alte silberne Münze oder ähnliches. Ein vorheriges Verkupfern des betreffenden Gegenstandes ist zweckmäßig. Dadurch wird eine gute Haftbarkeit der Silberschicht erzielt.

B Spannung, Widerstand, Stromstärke

Um diese drei Begriffe zu trennen und uns bildhaft vorstellen zu können, was mit ihnen gemeint ist, wollen wir einen Vergleich benutzen. Wir denken uns an Stelle des elektrischen Stromes eine Wasserströmung. Das Leitungsrohr, in dem das Wasser strömt, entspricht dann der elektrischen Leitung. Zwar müssen wir uns darüber klar sein, daß wir diesen Vergleich nicht allzuweit treiben dürfen; immerhin ist er geeignet, die Grundbegriffe zu verdeutlichen.
In einem Wasserrohr strömendes Wasser besteht aus einzelnen, sich vorwärts bewegenden Wassermolekülen, der elektrische Strom aus Elektronen (kleinen Atomteilchen), die sich durch das Atomgefüge des Leitungsdrahtes hindurchbewegen. Es ist einzusehen, daß im Wasserrohr ein gewisser Druck vorhanden sein muß (z. B. durch Gefälle, Pumpe usw.), damit das Wasser zum Fließen kommt. Auch die Elektronen brauchen eine treibende Kraft, um sich zu bewegen. Sie ist dem Druck vergleichbar und wird Spannung genannt. Ihre Maßeinheit stellt das Volt dar, abgekürzt V. Das Formelzeichen für die Spannung ist das U. Die Spannung wird von unserer Stromquelle erzeugt (die deshalb exakt eigentlich Spannungsquelle zu nennen ist), und zwar wirkt sich das etwa bei einer Batterie so aus, daß — veranlaßt durch die chemischen Vorgänge in ihr — am Minuspol ein Elektronenüberschuß („Elektronenstau“) entsteht, am Pluspol dagegen ein Elektronenmangel. Hier „fehlen“ also die Elektronen, die am Minuspol der Spannungsquelle „zuviel“ vorhanden sind (Vergleich: Überdruck und Unterdruck!). Verbinden wir beide Pole, so wandern die überschüssigen Elektronen vom Minuspol zum Pluspol. Die Spannungsquelle sorgt dafür, daß am Minuspol ständig neue Elektronen „nachgeliefert“ werden, der Elektronenstrom also ständig andauert. Innerhalb der Spannungsquelle werden die beim Pluspol ankommenden Elektronen gewissermaßen „abgesaugt“ und zum Minuspol zurückbefördert. Die dafür erforderliche Kraft entstammt bei

chemischen Elementen den chemischen Vorgängen, bei Dynamomaschinen wird sie zum Beispiel als mechanische Kraft „hineingesteckt", so daß eine Dynamomaschine lediglich eine „Energieform-Umwandlungsmaschine" ist.

Nehmen wir an, wir haben ein Wasserrohr bestimmten Durchmessers. Erhöhen wir jetzt den Druck, dann fließt durch das Rohr — nein, nicht *mehr* Wasser, sondern das Wasser fließt *schneller*, so daß am Rohrende im gleichen Zeitraum eine größere Wassermenge zum Vorschein kommt. Ebenso beim Strom: Erhöhen wir die Spannung, so fließen die Elektronen schneller. Es ist also falsch, anzunehmen, daß dann mehr Elektronen fließen! — Beim Wasserrohr können wir je nach dem Druck von einer bestimmten Stärke des ausfließenden Wasserstrahls sprechen, beim Strom entsprechend von der Stromstärke. Bei gleichbleibender Leitung nimmt sie also zu, wenn die Spannung zunimmt (Stärke des Wasserstrahls nimmt zu, wenn der Druck steigt!). Der elektrische Strom wird gemessen in Ampere (A), sein Formelzeichen ist das I.

Was geschieht bei der Wasserleitung, wenn wir bei gleichbleibendem Druck den Rohrdurchmesser vergrößern? Es ist klar, daß jetzt mehr Wasser ausfließt. Wird das Rohr enger, dann fließt weniger Wasser aus. Wir können uns das so vorstellen: Das Wasser findet im Rohr um so höheren Widerstand vor (Reibungswiderstand an der Rohrwandung!), je enger das Rohr ist. Wenn wir bei einem engen Rohr in der gleichen Zeit ebensoviel Wasser austreten lassen wollen wie bei einem weiten, dann muß das Wasser durch einen höheren Druck getrieben werden. Die Wasserstärke hängt also sowohl vom Druck als auch vom Rohrdurchmesser beziehungsweise allgemein Rohrwiderstand ab, sie wird mit steigendem Druck größer, mit steigendem Widerstand (= dünnerem Rohr) geringer.

Ebenso beim Strom: Ein dünnerer Draht setzt dem Strom einen höheren Widerstand entgegen; die Stromstärke verringert sich also. Vergrößern wir die Spannung, dann wird auch der Strom wieder stärker. Ein dünnerer Draht setzt den Elektronen einen höheren Widerstand entgegen, weil die Elektronen gewissermaßen ständig durch die Atome des Leiters, zwischen denen sie sich hindurchschlängeln müssen,

behindert werden. Vergleichen wir noch einmal mit dem Wasserrohr und stellen wir uns ein dünnes und ein dickes Rohr miteinander verbunden vor. In das dicke Rohr drücken wir das Wasser hinein, es wird dann mit einer bestimmten, von Druck und Rohrdurchmesser abhängigen Geschwindigkeit durch das Rohr strömen, bis es auf das anschließende dünne Rohr trifft. Da hier die gleiche Wassermenge hindurch muß wie durch das dicke Rohr, bleibt dem Wasser nur ein Ausweg: Im dünnen Rohr fließt es schneller. Das bedeutet aber höhere Reibung an der Rohrwandung, und diese Reibung wiederum kostet Kraft, ergibt daher Druckverlust. Im dünnen Rohr treten also höhere Druckverluste auf als im dicken, immer auf die gleiche Längeneinheit betrachtet. — Ebenso setzt auch ein dünner Draht dem Strom stärkeren Widerstand entgegen als ein dicker, und ebenso brauchen wir um so höhere Spannung, je länger der Draht ist, wie wir beim Wasser bei längerem Rohr höheren Druck brauchen, um den gleichen Wasserstrom zu erzielen wie bei einem kurzen und gleichstarken Rohr. Können wir den Druck (die Spannung) nicht erhöhen, dann müssen wir — um genügend starken Wasser- (elektrischen) Strom zu erhalten — ein Rohr (Draht) mit geringerem Widerstand verwenden, und das erreichen wir entweder mit kürzeren Rohren (Drähten) oder größerem Durchmesser des Rohres (Drahtes).
Wir haben damit die dritte wichtige Größe kennengelernt: den elektrischen Widerstand. Er wird gemessen in Ohm (Abkürzung ist das griechische Omega: Ω), sein Formelzeichen das R.
Die Zusammenhänge dieser 3 Größen: Spannung, Stromstärke und Widerstand — oder kurz: U, I und R — untersuchen wir jetzt experimentell.

1. Die Spannungsverteilung

1.1. Unsere Batterie gibt eine bestimmte Spannung ab. Wir wollen feststellen, wie sich diese Spannung aufteilt, wenn wir verschiedene Stromverbraucher miteinander verbinden

Wir benutzen eine Taschenlampenbatterie 4,5 V und 2 dafür passende gleichartige Lämpchen, etwa für 3,8 V (die Span-

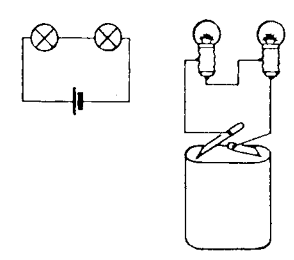


Bild 9
Reihenschaltung oder Serienschaltung zweier Lampen; rechts Modellaufbau, links die Schaltzeichnung

nung für die Lämpchen wird immer etwas niedriger angegeben, u. a. um Batteriealterungen usw. zu berücksichtigen). Wir verbinden beide Lämpchen mit der Batterie, wie Bild 9 zeigt (rechts der Aufbau, links die zugehörige Schaltzeichnung). Der Strom durchfließt also beide Lämpchen nacheinander, diese Schaltung wird daher *Reihenschaltung* oder *Serienschaltung* genannt.
Wir stellen fest, daß jedes Lämpchen nur mit halber Helligkeit brennt. Das läßt darauf schließen, daß der Strom durch jedes Lämpchen schwächer wird, als wenn nur eine Lampe angeschlossen ist. Der Strom durch beide Lampen muß jedoch gleich stark sein, da ja dieselben Elektronen, die die linke Lampe durchfließen, danach die rechte passieren und unterwegs keine Elektronen „verlorengehen" können. Offenbar erhält jetzt jede Lampe nur die halbe Batteriespannung, denn da der Widerstand des Lämpchens der gleiche geblieben ist (siehe Wasserrohrvergleich!), kann der schwächere Strom nur durch geringere Spannung verursacht sein.

1.2. Um die Gegenprobe zum vorigen Versuch zu machen, stellen wir fest, was geschieht, wenn wir die Batteriespannung erhöhen

Wir benutzen 2 gleiche Taschenlampenbatterien und wählen eine Schaltung nach Bild 10 a. Wir verbinden den Pluspol einer Batterie mit dem Minuspol der anderen, so daß sich beide Spannungen addieren. Nach unserem Wasserrohrvergleich ist zu erwarten, daß die doppelte Spannung ($4{,}5\ V + 4{,}5\ V = 9\ V$) jetzt die doppelte Stromstärke hervorruft, da der Widerstand des Lämpchens gleichgeblieben ist

(den Widerstand unserer Leitungen können wir vernachlässigen, da sie wesentlich dicker sind als das dünne Glühdrähtchen in der Lampe und dieses daher den weitaus größten Widerstand im ganzen Stromkreis darstellt).
Wir stellen fest, daß das Lämpchen tatsächlich doppelt so hell leuchtet wie mit einer Batterie, daß also offenbar der doppelte Strom fließt. Versuch nur kurzzeitig durchführen, sonst kann das Lämpchen zerstört werden!
Wir verbinden jetzt den vorangegangenen Versuch mit dem soeben durchgeführten, indem wir die Serienschaltung zweier Lämpchen (Bild 9) mit der Serienschaltung zweier Batterien (Bild 10 a) kombinieren, wie Bild 10 b zeigt. Jetzt brennt jedes Lämpchen normal hell, so wie es bei Einzelanschluß an eine Batterie brennen würde (Bild 3). Im Versuch nach Bild 9 ergab die Serienschaltung beider Lämpchen den doppelten Widerstand im Stromkreis, der Strom ging also auf den halben Wert zurück; durch Erhöhung der Spannung auf den doppelten Wert gelang es uns, wieder den alten Stromwert zu erreichen. Die aus dem Wasserrohrvergleich abgeleiteten Erklärungen sind damit experimentell bestätigt.

1.3. Wir wollen feststellen, was geschieht, wenn wir in der Schaltung nach Bild 10 b eine Batterie umpolen, das heißt, die gleichnamigen Pole beider Batterien verbinden

Bild 10 c zeigt diese Schaltung. Die gleichen Verhältnisse würden auftreten, wenn wir die beiden Minuspole der Batterien verbänden und die Lampenleitungen an die Pluspole anschlössen.
Wir erhalten diese Schaltung aus dem Aufbau nach Bild 10 b, indem wir einfach eine der Batterien umpolen.
Beide Lampen bleiben dunkel. Die Erklärung ist einfach: Beide Spannungen heben einander auf, da die Stromflußrichtungen beider Batterien entgegengesetzt verlaufen. Dem „Elektronenmangel“ am Pluspol einer Batterie steht ein ebensogroßer „Elektronenmangel“ der anderen Batterie gegenüber, beide Batterien befördern daher die Elektronen mit gleich großer Kraft in einander entgegengesetzter Richtung.

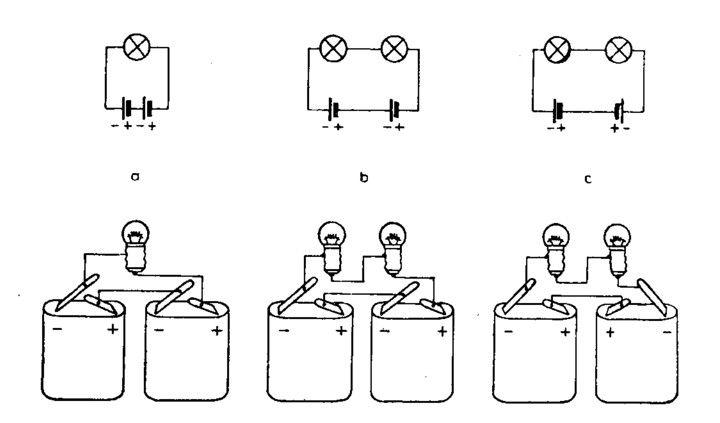


Bild 10 Serienschaltung zweier Batterien; a) die Batterien sind so verbunden, daß sich ihre Spannungen addieren. Oben die Schaltzeichnung, unten der Versuchsaufbau schematisch; b) Kombination aus Bild 9 und Bild 10a. Sowohl die Lampen als auch die Batterien sind in Serie geschaltet. Erklärung im Text; c) die Batterien sind gegeneinandergepolt, ihre Spannungen heben einander auf; die Lampen brennen daher nicht. Erklärung im Text

Die Elektronen im äußeren Stromkreis bewegen sich demzufolge überhaupt nicht, das heißt, es fließt kein Strom.

Wir können diesen Versuch mit 2 verschiedenen Batterien wiederholen, zum Beispiel einer 4-V-Batterie und einer 2-V-Batterie. Den 4 V der einen Batterie stehen dann 2 V der anderen Batterie entgegen, die entsprechend 2 V der stärkeren Batterie aufheben, so daß diese noch ein „spannungsmäßiges Übergewicht“ von 2 V hat. Die „Differenzspannung“ von 2 V steht dann für die Lampen zur Verfügung. Richtig gepolt, würden sich beide Spannungen addieren, und wir hätten 6 V verfügbar. Die verschiedenen Lampenhelligkeiten lassen das leicht erkennen. Wir merken uns folgende Regeln:

Gleichsinnig gepolte Spannungen in Serienschaltung der Batterien addieren, gegensinnig gepolte subtrahieren sich. Im ersten Fall steht daher die Summe beider Spannungen, im zweiten Fall ihre Differenz zur Verfügung.

Dieses Prinzip der Addition und Subtraktion von Spannungen wird übrigens in elektronischen Rechenmaschinen teilweise

zur Ausführung von Rechenaufgaben benutzt. – Wollen wir die Spannung einer Batterie dadurch verstärken, daß wir eine zweite in Serie schalten, so müssen wir auf richtige Polung beider Batterien (Bild 10 b) achten.

2. Die Stromverteilung

2.1. Wir „messen“ die Stärke des Stromes mit einem Kompaß-Galvanometer nach Bild 7 (siehe auch Seite 21)

Wir bauen einen einfachen Lampenstromkreis nach Bild 3 auf, mit einer 4,5-V-Taschenlampenbatterie und dazu passenden Lämpchen. In den Stromkreis schalten wir nach Bild 11 unser „Galvanometer“ ein (vor Anschluß der Batterie den Kompaß immer so drehen, daß die Nadel quer zur Spulenachse liegt!). Der Lampenstrom durchfließt die Wicklung und ergibt einen bestimmten Ausschlag der Kompaßnadel, der am günstigsten etwa 30° betragen soll. Falls er wesentlich größer ist oder die Lampe jetzt bedeutend dunkler brennt (Widerstand der Kompaßbewicklung!), dann wickeln wir einen Teil des Drahtes vom Kompaß ab. Die Größe des Ausschlages merken wir uns. Wir können den Versuch nun mit verschiedenen Lämpchentypen wiederholen und werden feststellen, daß der Ausschlag der Nadel verschieden groß ist: Die Lampen nehmen also verschieden starke Ströme auf.
Da die Batteriespannung bei allen Versuchen gleich ist, kann die vom Kompaß-Galvanometer angezeigte verschiedene Stromaufnahme nur dadurch zustande kommen, daß die Lämpchen je nach Type verschiedenen Widerstand aufweisen. Die Lampentype, die etwa 30° Ausschlag ergab, benutzen wir auch für die folgenden Versuche.

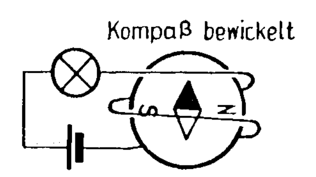


Bild 11
Den Stromfluß durch die Lampe können wir mit dem „Kompaß-Galvanometer“ (Bild 7) nachweisen, an der Größe des Ausschlags der Kompaßnadel läßt sich die Stromstärke abschätzen. Strommesser (Amperemeter) werden also immer in den Stromkreis eingeschaltet

2.2. Wir wollen nun die Parallelschaltung zweier Lämpchen untersuchen. (Die Zusammenhänge bei der Serienschaltung lernten wir bereits kennen.)

Bild 12 zeigt die *Parallelschaltung* zweier Lämpchen. Wie sofort zu sehen ist, bekommt jedes Lämpchen die volle Batteriespannung; es brennt daher normal hell, ohne daß 2 Batterien erforderlich wären. Wir schalten jetzt unser Galvanometer (Bild 11) zunächst in den Stromkreis der oberen Lampe (Bild 12) bei Punkt C ein; zu diesem Zweck wird die Leitung dort aufgetrennt. Wenn wir das gleiche Lämpchen benutzen wie beim Versuch nach Bild 11, dann zeigt die Kompaßnadel auch hier wieder den gleichen Ausschlag von 30°. Ebenso ist es bei der unteren Lampe, was wir durch Einschalten des Galvanometers bei B feststellen. Danach schalten wir das Galvanometer bei A ein (die Leitungen bei B und C werden wieder geschlossen, so daß beide Lämpchen brennen). Der Ausschlag der Nadel ist jetzt fast doppelt so groß wie zuvor; bei A fließt also der doppelte Strom. Schalten wir eines der Lämpchen ab, so geht der Strom bei A auf den Wert einer Lampe (etwa 30° Ausschlag) zurück. Schalten wir beide Lampen ab, dann geht der Strom erwartungsgemäß auf 0 zurück.

Bei Parallelschaltung addieren sich die Ströme beider Lampen. Die Batterie muß bei der Parallelschaltung also die doppelte Stromstärke liefern, dagegen genügt die für eine Lampe notwendige Spannung. Der von der Batterie gelieferte und bei A gemessene Strom teilt sich zur Hälfte auf die Leitungen bei B und C auf.

Wir können den Versuch anschließend mit 2 Lämpchen verschiedenen Stromverbrauchs wiederholen. Stets werden wir bei A die Summe der beiden bei B und C fließenden Ströme

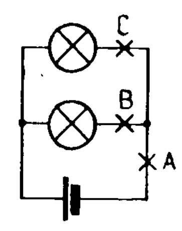


Bild 12
Parallelschaltung zweier Lampen.
Die Lampenströme in den Leitungen bei B und C addieren sich, bei A fließt daher die Summe der Lampenströme. Näheres im Text

messen. Auch können wir in dieser Art 3 oder mehr Lämpchen parallelschalten. In A ist dann die Summe aller Ströme meßbar. — Bei diesen Versuchen wird unser Kompaß-Galvanometer nur ungefähre Ergebnisse bringen, da die Auslenkung der Nadel, insbesondere bei großen Ausschlägen (über etwa 60°) dem Strom nicht mehr proportional ist. Man sollte daher den Kompaß so bewickeln, daß der Ausschlag nicht größer wird, als für gute Ablesung nötig ist.

2.3. Kombination der Reihen- und Parallelschaltung

Für die Reihenschaltung zweier Lampen (Bild 10 b) ist die doppelte Batteriespannung erforderlich. Wir kombinieren nun 2 derartige Lampengruppen zu einer Parallelschaltung nach Bild 13. Dafür benötigen wir insgesamt vier gleichartige Lämpchen (3,8 V) und 2 Taschenlampenbatterien (4,5 V). Die Lampen L 1 und L 2 liegen wie bei Bild 10 b in Serie, wobei an jeder Lampe die halbe Spannung der 9-V-Batteriekombination auftritt. Der Strom durch diese Reihenschaltung entspricht der einer Lampe und ist mit dem Kompaß-Galvanometer bei B meßbar. Parallel zur Lampengruppe L 1, L 2 liegt die zweite Lampengruppe L 3, L 4. Auch hier steht die volle Spannung der Batteriekombination (9 V) und damit je Lampe 4,5 V zur Verfügung; bei C fließt — mit Kompaß-Galvanometer nachweisbar — der einer Lampe entsprechende Strom. Die Ströme der Lampengruppen L 1—L 2 und L 3—L 4 addieren sich (vgl. Bild 12); bei A ist daher wiederum wie beim vorigen Versuch die Summe der bei B und C gemessenen Ströme, hier (Bild 13) also der doppelte Strom eines Lämpchens meßbar. Der gesamte Stromverbrauch dieser Schaltung entspricht dem zweier Lämpchen in Parallel-

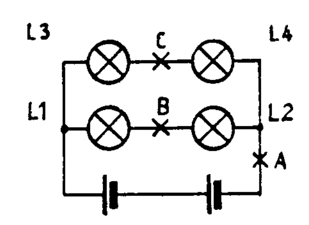


Bild 13
Kombination einer Serienschaltung (Lampen L 1, L 2 bzw. L 3, L 4) und einer Parallelschaltung (Lampengruppen L 1—L 2 und L 3—L 4). Bei B und C fließt jeweils der Strom einer Lampen-Serienschaltung, bei A die Summe beider. Näheres im Text

schaltung (Bild 12), ihr Spannungsbedarf ist jedoch wegen der Serienschaltung je zweier Lampen doppelt so hoch.
Wie die mit dem Kompaß-Galvanometer überschlägig erhaltenen Ergebnisse zeigen, vereinigt diese kombinierte Serien- und Parallelschaltung die Eigenschaften beider Schaltungsarten in sich. Mit einem „echten“ Amperemeter (für einen Meßbereich bis etwa 0,5 A) und möglichst noch einem Voltmeter (für 10 bis 12 V) könnten wir diese Verhältnisse ganz genau ermitteln und mit einem Voltmeter auch direkt nachweisen, daß bei der Serienschaltung tatsächlich an jedem Lämpchen die halbe Batteriespannung steht beziehungsweise bei der Serienschaltung von Lämpchen mit verschiedenem Spannungsbedarf und verschiedener Anzahl die Summe aller Lampenspannungen genau die Batteriespannung ergibt. Diese Meßinstrumente sind für unsere Experimente jedoch zu kostspielig; dagegen kann es möglich sein, daß sie uns jemand leiht oder wir diese Versuche in einer GST-Gruppe — die bestimmt mit den notwendigen Meßinstrumenten ausgerüstet ist — durchführen können. Auch bei beliebigen, komplizierteren Schaltungskombinationen, die wir uns selbst ausdenken können, werden wir stets die zuvor abgeleiteten Regeln bestätigt finden, die in vereinfachter Form nochmals wiederholt seien:
Bei Parallelschaltungen ergibt die Summe aller Einzelströme die von der Batterie zu liefernde Gesamtstromstärke, alle parallelgeschalteten Verbraucher (hier die Lämpchen) erhalten die gleiche Spannung und müssen daher für die gleiche Spannung bestimmt sein.
Bei Serienschaltungen ergibt die Summe aller Spannungen der einzelnen Verbraucher (hier die Summe aller Lampenspannungen) die Batteriespannung; alle Verbraucher werden vom gleichen Strom durchflossen und müssen daher für die gleiche Stromstärke bestimmt sein.

2.4. Wir wollen zeigen, daß verschiedene Materialien verschiedenen Widerstand haben

Wir wählen dazu einen Versuchsaufbau nach Bild 14 a. An den Klemmen K ist der Stromkreis unterbrochen. Zwischen

diese beiden Klemmen können wir also verschiedene Materialien einschalten, um ihre Leitfähigkeit zu prüfen. Als Batterie benutzen wir in diesem Fall am besten eine Monozelle 1,5 V oder einen 2-V-Trockenakku, dazu ein Lämpchen für 1,8 V oder 2,5 V. Auch eine 4,5-V-Flachbatterie mit einem Lämpchen für 6,3 V / 0,3 A (Radioskalenlampe) ist geeignet. Die unterschiedliche Helligkeit des Lämpchens läßt Rückschlüsse auf die Stromstärke zu. Wenn zwischen den Klemmen K ein Leiter mit hohem Widerstand eingeschaltet ist, wird nur ein schwacher Strom fließen und das Lämpchen dunkel brennen. An Stelle des Lämpchens können wir vergleichsweise auch unser Kompaß-Galvanometer einschalten und am unterschiedlich großen Nadelausschlag die einzelnen Stromstärken abschätzen. Bild 14 b zeigt den praktischen Aufbau. Für die Klemmen K eignen sich die in Einzelteilgeschäften oder Radiowerkstätten billig erhältlichen „Krokodil"-Klemmen sehr gut, in die wir unser Material schnell einklemmen können, wie in Bild 14 b mit einem dünnen Drähtchen angedeutet.

Wir schalten zwischen die Klemmen K verschiedene möglichst dünne Drähte, die untereinander gleich stark und gleich lang sein sollen (etwa 3 bis 5 m lang, evtl. zur bequemeren Handhabung auf Postkarte so aufwickeln, daß sich die Windungen nicht berühren). Wir benutzen zunächst einen Kupferdraht, dann einen Eisendraht (Blumenbindedraht), anschließend einen Konstantan- oder Manganindraht (eine spezielle

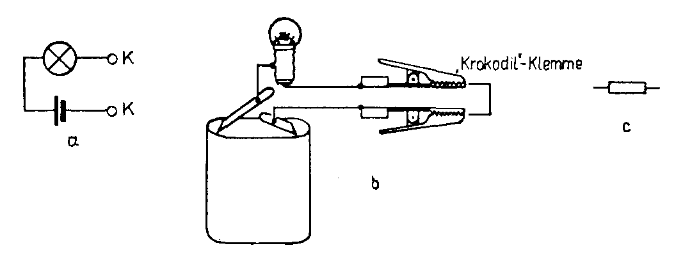


Bild 14 Versuch zum Nachweis des verschiedenen Widerstands von Materialien. Zwischen die Klemmen K wird das zu untersuchende Objekt eingeschaltet; a) Schaltzeichnung der Versuchsanordnung; b) Modellaufbau; c) Schaltsymbol für einen Widerstand. Näheres im Text

Metallegierung mit hohem Widerstand, z. B. eine alte Kocherheizspirale oder den von einem Rundfunkdrahtwiderstand — Heizwiderstand — abgewickelten Draht). Damit der Versuch deutlich sichtbare Ergebnisse bringt, sollen die Drähte nicht stärker als etwa 0,2 mm sein.
Zum Abschluß schalten wir zwischen die Klemmen K einige lange Bleistiftminen verschiedener Härtegrade und eine Kopierstift- oder Farbstiftmine.
Wir stellen fest, daß das Lämpchen beim Einschalten eines Kupferdrahtes hell leuchtet. Kupfer hat geringen Widerstand, stellt daher einen guten elektrischen Leiter dar. Bei Eisendraht ist die Helligkeit etwas geringer, Eisen hat also höheren Widerstand. Noch geringer zeigt sich die Helligkeit bei Konstantan- oder Manganindraht: Diese Drähte weisen verhältnismäßig hohen Widerstand auf; sie werden daher benutzt, wenn dem Strom ein Widerstand entgegengesetzt werden soll. — Metalle differieren also je nach Art und Legierung in ihrem Widerstand. Für Leitungszwecke nimmt man daher Metalle mit möglichst geringem Widerstand (Kupfer oder Aluminium). (Bei unserem Wasserrohrvergleich können wir uns den Widerstand gewissermaßen als unterschiedlich rauhe Innenfläche des Rohres vorstellen, die eine mehr oder weniger starke Reibung zwischen Wasser und Rohrwand bewirkt.) Da diese Widerstandsunterschiede für jede Metalllegierung feststehende Werte (Konstanten) darstellen, spricht man vom „spezifischen Widerstand" des Materials. Er wird jeweils für ein Leiterstück einheitlicher Länge und einheitlichen Querschnitts (1 m Länge, 1 mm^2 Querschnitt) angegeben.
Wir stellen weiter fest, daß nicht nur Metalle leiten. Auch Graphit leitet den elektrischen Strom gut, jedoch weit schlechter als Metall. In unserem Versuch bemerken wir das weniger, weil die Graphitmine dicker und kürzer ist als unsere Drähte. Wir stellen aber fest, daß „harte" Bleistiftminen schlechter leiten als „weiche", da sie weniger Graphit und mehr Tonbeimischung enthalten. Mit Graphit beziehungsweise Kohle lassen sich daher besonders hohe Widerstandswerte erreichen. Andere Farbstoffe oder Farbminen leiten gar nicht, die Lampe bleibt dunkel; diese Stoffe sind also Nichtleiter. Übrigens können wir in einem Zusatz-

versuch auch unser „galvanisches Bad“ aus Bild 8 zwischen die Klemmen K schalten und damit die Leitfähigkeit verschiedener Flüssigkeiten untersuchen. Wenn wir in das Gefäß dann zunächst Leitungswasser einfüllen, wird das Lämpchen nur ganz wenig aufleuchten; das Wasser hat also (vgl. Seite 14 bis 16) relativ hohen Widerstand. Sobald wir Kochsalz, Essig oder ähnliches beigeben, leuchtet die Lampe heller, der Widerstand der Flüssigkeit verringert sich.

Widerstände für technische Zwecke werden in bestimmten Ohmwerten (von einigen Zehnteln Ω bis zu vielen Millionen Ω) gefertigt; für geringere Ohmwerte oder für sehr hohe Stromstärken meist aus Widerstandsdraht (z. B. Konstantan), für höhere Ohmwerte durch Graphitschichten, die man auf Porzellankörper aufbringt (z. B. Radioschichtwiderstände). Wir lernen hier ein neues Schaltsymbol kennen: Ein Widerstand wird in einer Schaltung mit dem Symbol Bild 14c dargestellt. Der jeweilige Ohmwert kann bei Bedarf daneben angeschrieben werden. Für höhere Ohmwerte sind in der Rundfunktechnik die Abkürzungen „kΩ“ (Kiloohm, 1 kΩ = 1000 Ω), und „MΩ“ (Megohm, 1 MΩ = 1000 kΩ = 1 000 000 Ω) üblich, ebenso wie in der Rundfunktechnik kleine Ströme nicht in Ampere, sondern in Milliampere „mA“ (1000 mA = 1 A) und Spannungen außer in Volt auch in Kilovolt (1 kV = 1000 V) oder Millivolt (1 mV = $^{1}/_{1000}$ V) angegeben werden. Da man diese Bezeichnungen ebenso wie die Umwandlungen der Längenmaße (Meter, Kilometer, Millimeter) und Gewichtsmaße ständig benutzt, werden sie uns schnell geläufig sein.

2.5. Wir wollen feststellen, welchen Einfluß auf den Widerstand eines Leiters seine Länge und sein Querschnitt haben

Wir benutzen die Versuchsanordnung des vorigen Versuchs. Am besten geeignet sind jetzt Eisendrähte unterschiedlicher Länge und (nicht zu großer) Durchmesser. Wir schalten von einem Draht konstanten Durchmessers einmal ein längeres, dann ein kürzeres Stück zwischen die Klemmen K ein. Je länger der Draht, desto dunkler brennt die Lampe: desto

höher ist also erwartungsgemäß sein Widerstand. Bei gleichbleibender Länge schalten wir nun einmal einen dünneren, dann einen dickeren Draht ein. Der dickere Draht hat geringeren Widerstand: die Lampe brennt heller. Beide Ergebnisse sind nach unserem Wasserrohrvergleich ohne weiteres verständlich.

Wir schalten nun 2 Drähte gleicher Länge und gleichen Durchmessers parallel zwischen die Klemmen K. Die Lampe brennt nun etwa doppelt so hell wie bei einem der Drähte. Das bedeutet: Der Widerstand dieser Parallelschaltung beträgt nur die Hälfte des Widerstands von einem Draht. Schalten wir die beiden Drähte nun hintereinander (in Serie) zwischen die Klemmen, so zeigt die Lampe, daß der Widerstand zwischen den Klemmen jetzt doppelt so groß ist wie der des einen Drahtes. Nach dem Wasserrohrvergleich erkennen wir: Das bei gleichem Durchmesser doppelt lange Rohr setzt dem Wasser doppelten Widerstand entgegen. Schalten wir 2 gleiche Rohre parallel, indem wir Anfang und Ende etwa über eine Rohrabzweigmuffe verbinden, so verteilt sich der Wasserstrom auf beide Rohre. In jedem fließt nur die halbe Wassermenge (beim Draht: der halbe Strom, vgl. Bild 12!); wir können uns diese „Doppelleitung" als ein Rohr mit doppeltem Querschnitt vorstellen. Wir merken uns:

Der Widerstand wächst mit der Länge des Leiters und verringert sich mit seinem Querschnitt. Die Widerstandswerte zweier in Serie geschalteter Widerstände addieren sich (das gleiche geschieht, wenn mehr als 2 Widerstände in Serie geschaltet sind); der Widerstandswert zweier gleich großer, parallelgeschalteter Widerstände beträgt die Hälfte des Wertes eines Widerstands.

Schalten wir 3 gleiche Widerstände parallel, so beträgt der Gesamtwiderstand ein Drittel des Wertes eines Widerstands. — Bei der Parallelschaltung von Widerständen unterschiedlicher Werte ist der Gesamtwiderstand stets geringer als der des kleinsten Teilwiderstands.

Wir können das gleiche Experiment mit der Bleistiftmine machen, indem wir sie auf der ganzen Länge mit Schmirgelleinen vorsichtig dünner schmirgeln. Die Lampe wird dann dunkler, da der Widerstand der Mine wegen des geringeren Querschnitts ansteigt.

3. Das Ohmsche Gesetz – die rechnerische Beziehung zwischen den im Vorangegangenen untersuchten Zusammenhängen

Dieses Büchlein soll zwar eine reine Experimentalanleitung sein, jedoch hat das Ohmsche Gesetz fundamentale Bedeutung; wir wollen daher wenigstens seine Grundzüge kennenlernen.
Wie wir in den soeben durchgeführten Versuchen sahen, geht bei Reihenschaltung zweier Widerstände (Lämpchen – Bild 9 und 10 – sind auch nichts anderes als Widerstände, deren Widerstandsdraht zum Glühen gebracht wird!) der Strom zurück, bei Erhöhung der Spannung steigt er. Spannung U, Stromstärke I und Widerstand R stehen zueinander in der Beziehung: $U = I \cdot R$. Diese Grundformel wollen wir uns merken. Durch einfache Umstellung können wir, wenn 2 Größen gegeben sind, die dritte errechnen: $I = \frac{U}{R}$, oder zur Berechnung des Widerstands: $R = \frac{U}{I}$. Es gibt für diese 3 Formeln eine einfache Gedächtnisstütze in Form des „Merk-Dreiecks“, Bild 15. Wir decken einfach die gesuchte Größe mit dem Finger zu, es bleibt die zum Ausrechnen erforderliche Formel lesbar.
Da wir für diese Versuche kein genau anzeigendes Meßgerät zur Verfügung haben, können wir zum Ohmschen Gesetz nicht unmittelbar Zahlenwerte ergebende Versuche durchführen. Falls wir diese Experimente jedoch im Rahmen einer GST- oder schulischen Arbeitsgemeinschaft durchführen oder uns anderweitig ein Voltmeter und Amperemeter leihen, ist es möglich, die rechnerischen Zusammenhänge des Ohmschen Gesetzes ohne weiteres auch meßtechnisch zu zeigen.
Wir kaufen uns in einem Rundfunk-Einzelteilgeschäft einige

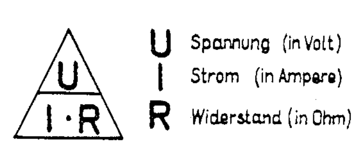


Bild 15
Merk-Dreieck zur Ableitung der Formeln des Ohmschen Gesetzes. Die jeweils gesuchte Größe wird mit dem Finger abgedeckt

nicht zu kleine (vgl. Abschnitt E) Drahtwiderstände in den Werten 5 Ω, 10 Ω und 20 Ω, zweckmäßig 2 bis 3 Stück von jedem Wert. Bei dieser Gelegenheit lassen wir uns einen kleinen Kohleschichtwiderstand von 5 bis 10 Ω (für $^1/_{10}$ oder $^1/_{20}$ W Belastbarkeit) geben. Bei einem späteren Experiment wollen wir ihn – er kostet nur wenige Pfennige – absichtlich zerstören. Zunächst können wir mit Aceton oder Nagellackentferner seine Lackierung (meist grün) ablösen; unter ihr wird dann die spiralförmig aufgetragene Graphitschicht sichtbar.

Wir schließen unseren 5-Ω-Widerstand nach Bild 3 direkt an die Batterie an; der Widerstand tritt an die Stelle des Lämpchens. Wir wollen wissen, welcher Strom den Widerstand durchfließt; gesucht ist also I. Die Batteriespannung U nehmen wir – um auf runde Zahlen zu kommen – mit rund 5 Volt an. Nach Bild 15 ist $I = \frac{U}{R} = \frac{5\ V}{5\ \Omega} = 1$ A. Es fließt also ein Strom von 1 Ampere. Schalten wir unser Kompaß-Galvanometer in den Stromkreis ein, so könnten wir an den Punkt, bis zu dem die Nadel ausschlägt, „1 A“ anschreiben (praktisch hat das wegen der Ungenauigkeit dieses „Galvanometers“ nicht viel Zweck). Tatsächlich beträgt unsere Batteriespannung aber – wenn die Batterie frisch ist – nur 4,5 V, bei etwas verbrauchter Batterie noch weniger; es würde also, genau gerechnet, nur ein Strom von $\frac{4{,}5\ V}{5\ \Omega}$ = etwa 0,9 A fließen. Da es uns hier auf die Verdeutlichung des Prinzips ankommt, wollen wir uns zunächst mit runden Zahlen begnügen. Falls wir diese Versuche mit genauen Meßinstrumenten ausführen, müssen wir natürlich die genauen Zahlen in die Rechnung einsetzen. Wir könnten dann auch den Wert eines uns unbekannten Widerstands errechnen: Zu messen wäre dann die Batteriespannung mit zum Beispiel 5 Volt; den Strom würden wir mit einem in die Leitung eingeschalteten Amperemeter etwa mit 0,5 A bestimmen. Es ist dann $R = \frac{U}{I} = \frac{5}{0{,}5} = 10\ \Omega$, der unbekannte Widerstand beträgt 10 Ω. Schalten wir 2 Widerstände in Reihe, so addieren sich ihre Werte; 2 in Serie geschaltete Widerstände von je 5 Ω ergeben also einen Gesamtwider-

stand von 10 Ω. Auf diese Weise können wir durch verschiedene Kombination der angeschafften Widerstände alle mit den Lämpchen durchgeführten Experimente (Bilder 9 bis 14) wiederholen und jeweils durch Strom- und Spannungsmessung unsere Berechnungen nachprüfen oder aus 2 bekannten Größen die dritte bestimmen. Für eine Strommessung wäre dann ein Amperemeter ebenso in den Stromkreis zu schalten wie unser Kompaß-Galvanometer (Bild 11); ein Voltmeter dagegen wird direkt an beide Punkte, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll, angeschlossen (zur Messung der Batteriespannung also z. B. direkt an beide Batteriepole oder zur Messung der an einem Lämpchen vorhandenen Spannung direkt an beide Anschlüsse des Lämpchens – etwa in Bild 9 oder Bild 13). Hier hilft uns wieder der Wasserrohrvergleich: Dem Amperemeter entspricht die Wasseruhr, sie liegt im Wasserstrom eingeschaltet. Ein Druckmesser – Manometer – wird dagegen nicht vom Wasserstrom durchflossen, sondern am Rohr angesetzt, das Voltmeter also dem Objekt, dessen Spannung zu messen ist, parallelgeschaltet.

Wir sagten vorhin, daß auch unsere Lämpchen nichts anderes als Widerstände darstellen. Welchen Widerstand hat zum Beispiel ein Lämpchen, das den Aufdruck „2,5/0,2“ trägt, also für 2,5 V bestimmt ist und dabei 0,2 A verbraucht?

Wir rechnen wiederum:

$R = \frac{U}{I} = \frac{2{,}5}{0{,}2} = 12{,}5$. Das Lämpchen hat also 12,5 Ω Widerstand. In Reihenschaltung nach Bild 9 beträgt dann der Widerstand zweier dieser Lämpchen $12{,}5 + 12{,}5 = 25$ Ω. Mit einer Batterie von 2,5 V (Bild 9) würde jetzt ein Strom fließen von: $I = \frac{U}{R} = \frac{2{,}5}{25} = 0{,}1$ A, also die Hälfte des vorigen Beispiels. Wir erkennen, daß beide Lampen tatsächlich nur halb so hell brennen können. Verdoppeln wir jetzt nach Bild 10b auch die Batteriespannung, so wäre für 2 Batterien je 2,5 V = 5 V zu rechnen:

$I = \frac{U}{R} = \frac{5}{25} = 0{,}2$ A. Es fließt also wieder der alte Strom, und beide Lampen brennen normal hell. Daraus wiederum

läßt sich beweisen — und mit einem Voltmeter auch nachmessen —, daß jetzt an jeder Lampe (Bild 10b) die halbe Batteriespannung auftritt. Wie oben berechnet, hat das Lämpchen 12,5 Ω Widerstand. Den nach Bild 10 b fließenden Strom haben wir mit 0,2 A errechnet. Die Lampenspannung ergibt sich damit zu $U = I \cdot R = 0{,}2 \cdot 12{,}5 = 2{,}5$ V je Lampe. Beide Lampenspannungen zusammengerechnet ergeben wiederum die Batteriespannung zu 5 V. Damit ist das zuvor experimentell Ermittelte auch rechnerisch bewiesen. In ähnlicher Form können wir jetzt übungshalber alle vorangegangenen Versuche dieses Abschnitts mit Lämpchen und Widerständen wiederholen, die jeweils auftretenden Spannungen und Ströme errechnen und mit entsprechenden Meßinstrumenten auch nachmessen. Wenn irgend möglich, sollten wir diese Versuche mit zahlenmäßiger Messung wiederholen. Wir werden dann sehr schnell die nötige Übung im Umgang mit dem Ohmschen Gesetz — dessen Kenntnis schon für einfache Versuche nahezu unerläßlich ist — bekommen.

C Elektromagnetismus

1. Mit Elektromagnetismus beschäftigten wir uns schon in Abschnitt A – 2. Das erste praktische Ergebnis war bereits der Elektromagnet einfachster Art in Form der Spule (Bild 6) und als Nutzanwendung unser Kompaß-Galvanometer (Bild 7). Wir hatten uns einen einfachen Elektromagneten hergestellt, indem wir eine leere Garnrolle mit möglichst vielen Windungen dünnen Drahtes voll bewickelten. Mit diesem Elektromagneten wollen wir nun einige weitere Versuche machen. Daß er (sobald wir die Spule an eine 4,5-V-Taschenlampenbatterie anschließen) die gleichen Eigenschaften hat wie ein Permanentmagnet, wiesen wir bereits mit dem Kompaß nach. Wir magnetisieren nun einen Stahlnagel nicht – wie unter A – 2. beschrieben – mit einem Permanentmagneten, sondern durch Bestreichen mit unserem Elektromagneten. Das Ergebnis ist das gleiche wie unter A – 2.

Kleine Eisengegenstände (Stecknadeln) werden von unserem Elektromagneten ebenfalls angezogen, sobald wir den Strom einschalten: Wir können sie mit dem Magneten hochheben. Schalten wir den Strom aus, dann verschwindet der Magnetismus: Die Nadeln fallen ab.

1.1. Ein Eisenkern innerhalb der Spule verstärkt die Kraft des Elektromagneten

Wir schieben in die Achse der Garnrolle einen Eisenkern ein. Geeignet ist ein dicker Zimmermannsnagel, ein Schraubenbolzen oder ähnliches, der aber aus Weicheisen sein soll. Gut verwenden läßt sich auch ein Kern aus einem Bündel passend geschnittener Eisendrähte (z. B. Blumenbindedraht). Stahl eignet sich nicht, da er auch beim Ausschalten des Stromes magnetisch bliebe (remanenter Magnetismus, vgl. Abschnitt A – 2.). Bild 16a zeigt die Schaltung.

Wir stellen fest, daß sich die Magnetkraft beim Einschalten

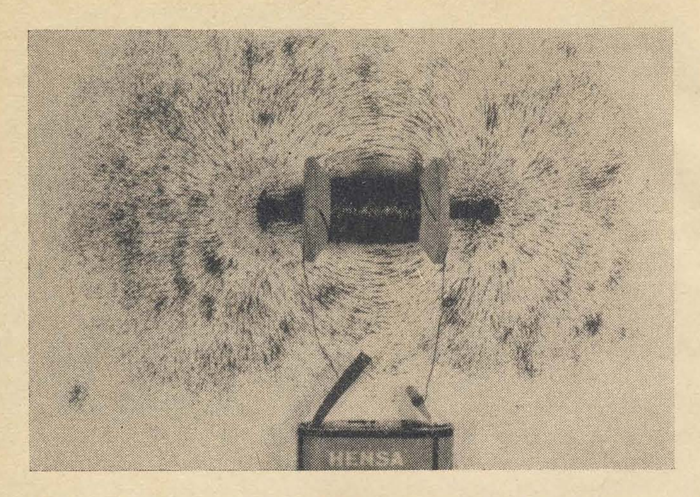


Bild G Eine Garnrolle, mit Draht bewickelt, als Elektromagnet. Als Eisenkern dient ein durchgesteckter eiserner Schraubenbolzen oder ähnliches. Um die auf einem Papierblatt liegende Spule wurde Eisenpulver aufgestreut, um das magnetische Kraftlinienfeld der Spule sichtbar zu machen. Vergleiche mit Bild B und Bild 6c

des Stromes bedeutend verstärkt hat. Stecknadeln zum Beispiel werden heftiger angezogen, der Kompaß wird schon auf größere Entfernung beeinflußt und so weiter. Beim Abschalten des Stromes verschwindet die Magnetwirkung.

Wie Bild 16a schematisch andeutet, kommt die Verstärkung einmal dadurch zustande, daß der Eisenkern die magnetischen Kraftlinien eng bündelt (konzentriert) — wir können sie sehr leicht durch eine auf die Spule aufgelegte Postkarte, die wir mit Eisenstaub bestreuen und leicht anklopfen, sichtbar machen —, zum anderen ist Eisen ein guter „magnetischer Leiter" (im Gegensatz zur Luft, die den magnetischen Kraftlinien einen relativ hohen Widerstand entgegenstellt). Elektromagneten für technische Zwecke haben daher immer einen Eisenkern. Man kann die Kraftlinien noch enger auf ein kleines Gebiet konzentrieren und dort stärkere Magnetkraft erreichen, wenn der Luftweg für die Kraftlinien durch entsprechende Ausbildung des Eisenkerns möglichst verkürzt wird. Ein Beispiel dafür zeigt Bild 16b. Mit etwas Geschick

und einigen geeigneten Eisenblechstreifen, die wir U-förmig biegen und an einem Ende des eisernen Spulenkerns ansetzen, können wir diese Elektromagnetform selbst bauen. Die in Bild 16b nur angedeutete Spule wird wieder durch unsere Garnrolle gebildet. Gegenstände, die wir vor die Magnetpole bringen, werden jetzt – soweit sie magnetisch sind – von beiden Polen des Magneten angezogen (der untere Magnetpol der Spule ist hier doppelt nach oben geführt), womit die Kraft des Magneten weiter wächst. Eine solche Elektromagnetform wird oft in Starkstrom-Schaltschützen angewendet; wir können den Magneten aber auch aus einer alten Rundfunkdrosselspule gewinnen, indem wir dort einen Quersteg des Eisenkerns entfernen. Diese Drosselspulen haben allerdings oft einen sehr hohen Widerstand (einige 100 Ω), so daß wir eine höhere Batteriespannung brauchen, damit ein genügend hoher Strom fließt und wir ausreichende Magnetkraft erhalten. Man schaltet dann je nach Bedarf 3 bis 5 oder noch mehr Taschenlampenbatterien in Serie (Bild 10b), um die erforderliche hohe Spannung zu erreichen.

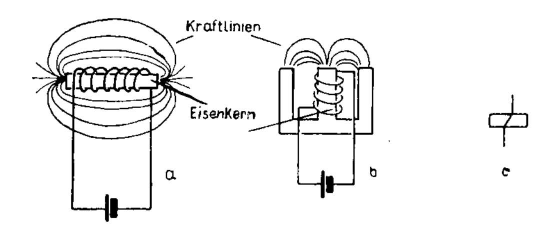


Bild 16 Durch Einführen eines Eisenkerns in die Spule wird der Magnetfluß verstärkt, da Eisen einen wesentlich geringeren magnetischen Widerstand hat als Luft; a) Grundform der Spule mit Eisenkern; b) der Eisenkern wird jochförmig gebogen, um die austretenden Kraftlinien an einer Stelle zu konzentrieren; c) Schaltzeichen für einen Elektromagneten

Bild 16c zeigt schließlich noch das Schaltsymbol für Elektromagneten; es wird überall dort benutzt, wo der Elektromagnet die Aufgabe hat, eine mechanische Kraftwirkung auszuüben. Der Schrägstrich in dem quer zur Leitung liegenden Kästchen symbolisiert die Wicklung.

1.2. Wir bauen eine Klingel (Prinzip des Wagnerschen Hammers)

Zur praktischen Nutzanwendung unseres Garnrollenmagneten bauen wir eine einfache Klingel auf. Bild 17a skizziert den Aufbau. Die Garnrolle wird quer auf einem Holzbrettchen befestigt. Vor einem Ende des Eisenkerns bringen wir ein Eisenblech an, das sich um einen als Achse dienenden Nagel drehen kann und das wir mit einem kurzen, steifen Draht (halbierte Stricknadel!) zum Klöppel verlängern. Wenn wir den Strom einschalten, wird der Eisenblech-„Anker" vom Magneten angezogen, und der Klöppel schlägt an die Glocke. Damit der Magnet kräftig genug wirken kann, soll der Anker höchstens 5 mm vom Spulenkern entfernt sein.

Dieser Aufbau hat, wie wir bald merken, noch mehrere Mängel. Erstens schlägt der Klöppel beim Einschalten nur einmal an die Glocke, er kommt nicht zurück, da der Anker angezogen bleibt (wir müßten also in schneller Folge den Strom ein- und ausschalten!). Zweitens kommt der Klöppel auch beim Ausschalten nicht von selbst wieder zurück. Dieser Nachteil wäre allerdings sehr einfach durch eine schwache Feder (Gummibändchen) zu beheben, die den

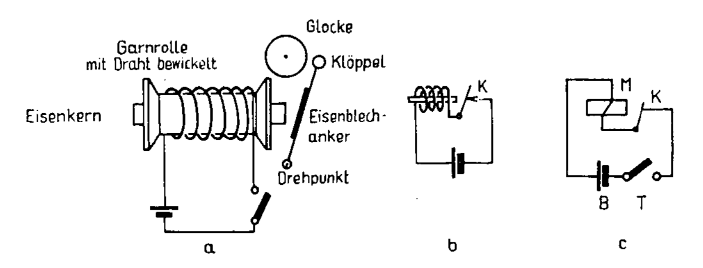


Bild 17 Prinzip des Selbstunterbrechers; a) einfachster Aufbau einer elektrischen Klingel. Beim Einschalten des Stromes wird der Anker angezogen und bleibt in dieser Stellung, bis der Strom ausgeschaltet wird. Diese Klingelform gibt bei Gleichstrom daher nur einen einzigen Anschlag. Für Wechselstrom ist sie in dieser Form bereits verwendbar, da dann das Magnetfeld im Takt des Wechselstroms pulsiert und der Anker diesen Magnetfeldänderungen folgt; b) für Gleichstrom muß der Aufbau nach Bild 17a einen zusätzlichen Unterbrecherkontakt bekommen. Erklärung im Text; c) Schaltzeichnung zu b unter Benutzung der Schaltsymbole: M — Magnetspule, K — Unterbrecherkontakt, B — Batterie, T — Klingeltaster (Druckknopf) oder Schalter

Anker beim Abschalten des Stromes wieder um 4 bis 5 mm vom Spulenkern entfernt. Bleibt noch der Nachteil des ständigen Ein- und Ausschaltenmüssens. Aber diese Arbeit kann uns die Klingel selbst abnehmen. Wir treffen dazu einen Aufbau, der in Bild 17b skizziert ist, und zwar in Form einer Schaltzeichnung. Spule und Batterie sind wieder vorhanden, auf den Einschalter aus Bild 17a wurde hier der besseren Übersichtlichkeit wegen verzichtet. Neu ist dagegen der Ankerkontakt K. Er besteht aus dem Ankerblech selbst und aus einer Kontaktspitze, die den Anker auf der dem Magneten abgewendeten Seite berührt. Der Anker soll bei stromlosem Magneten durch eine kleine Feder oder ähnliches vom Magneten weggezogen werden und liegt dann also an der Kontaktspitze an, die gleichzeitig dafür sorgt, daß der Anker sich nicht zu weit vom Magneten entfernen kann.

Was geschieht nun nach Bild 17b beim Anschluß der Batterie? Sobald wir die Batterie anschließen, beginnt der Anker von selbst hin und her zu schwingen.

Diese Bewegung kommt folgendermaßen zustande: Der Stromkreis ist zunächst über die Spule und den Kontakt K geschlossen. Die Spule bekommt also Strom, wird magnetisch und zieht den Anker an. Dadurch wird dieser aber von der Kontaktspitze K weggezogen, der Stromkreis ist dort also aufgetrennt und die Spule in diesem Moment stromlos. Ihr Magnetfeld verschwindet daher, der Anker kann nicht mehr angezogen werden und fällt zurück in die Ausgangslage (bzw. wird durch die hier nicht gezeichnete kleine Feder zurückgeholt). In diesem Moment berührt der Anker abermals den Kontakt K, der Stromkreis schließt sich also wieder, die Spule zieht den Anker an, und das Spiel beginnt von neuem: Der Anker trennt den Stromkreis bei K auf, fällt dadurch wieder ab und so weiter. Der am Anker sitzende Klöppel schlägt daher fortwährend gegen die Glocke. Dieses Prinzip wird in der „klassischen" Schulphysik als „Wagnerscher Hammer" bezeichnet, gebräuchlicher ist aber die technisch exakte Bezeichnung „Selbstunterbrecher". Der Name erklärt sich daraus, daß diese Elektromagnet-Schalterkombination ihren eigenen Stromkreis ständig selbst unterbricht und wieder einschaltet.

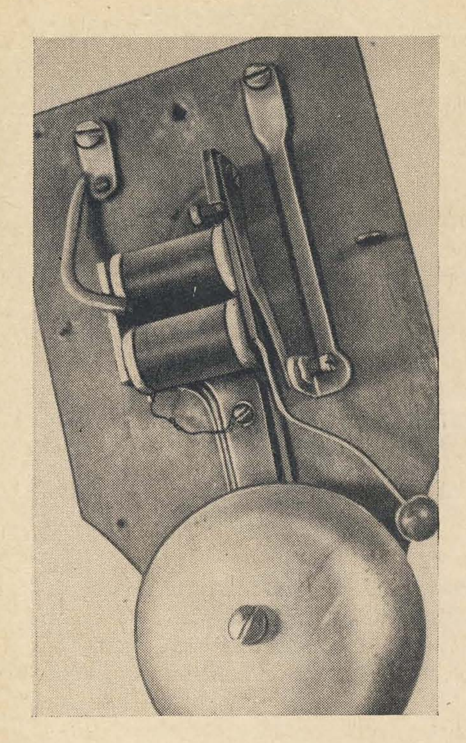


Bild H

Aufbau eines elektrischen Weckers (Haube abgenommen). Vergleiche mit Bild 18. Rechts vor den Spulen der Anker mit Klöppel, hinter dem Anker schräg unterhalb der Spulen der Unterbrecherkontakt (verstellbare Schraube)

Bild 17 c zeigt die vollständige Schaltzeichnung einer Klingelanlage oder Selbstunterbrecherschaltung. B ist die Batterie, T der von Hand zu betätigende Drucktaster oder auch Einschalter (ein Drucktaster ist ein Schalter, der den Stromkreis nur so lange schließt, wie er herabgedrückt wird), M die Magnetspule, mit ihrem Schaltsymbol dargestellt, und K der von M betätigte Unterbrecherkontakt. Wir sehen wieder, daß eine Schaltzeichnung lediglich die Stromläufe übersichtlich darstellt, ohne auf die tatsächliche räumliche Anordnung der einzelnen Bauteile Rücksicht zu nehmen. Bei einer Klingelanlage sind M und K innerhalb der Glocke (fachlich exakt gesagt, des „Weckers") vereinigt, an K sitzt gleichzeitig der Klöppel. Die Batterie B ist meist in Nähe des Weckers an geeigneter Stelle untergebracht und der Taster T weit

entfernt an der erforderlichen Stelle. Die zu ihm führenden Leitungen sind also in Wirklichkeit weit länger, als die Schaltzeichnung erkennen läßt.
Zum Vergleich sei nochmals in bildhafter Darstellung (Bild 18) skizziert, wie unsere selbstgebaute und nach Bild 17 c geschaltete Klingelanlage aussehen könnte. Den Eisenkern haben wir wieder mit geeignet gebogenen Eisenblechstreifen zu einer U-Form verlängert, ähnlich Bild 16 b, damit der Anker kräftiger angezogen wird. Der Anker wurde diesmal nicht drehbar montiert, sondern an einem kurzen Federblechstück (Messing-, Bronzeblechstreifen oder Uhrfederstück) befestigt. Dieses ist so gebogen, daß es den Anker vom Magneten wegzieht. Ein in das Grundbrettchen eingeschlagener und rechtwinklig abgebogener Nagel, an den sich der Anker bei stromloser Magnetspule anlegt, ergibt den Kontakt. Einen Klingeltaster können wir ebenfalls leicht aus 2 Federblechstreifen bauen, die mit etwas Zwischenraum

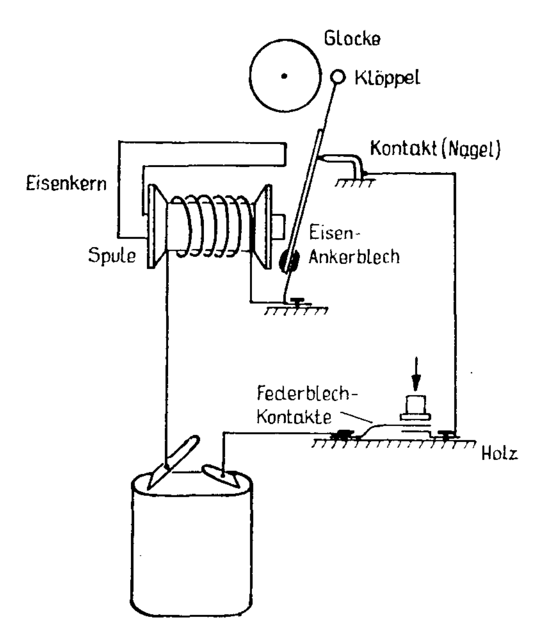


Bild 18 Modellaufbau einer Gleichstromklingel zum Selbstbau

so übereinanderstehend befestigt werden, daß man sie durch Fingerdruck verbinden kann, wie ebenfalls Bild 18 zeigt. Wir vergleichen Schaltung und Aufbau nach Bild 17c und Bild 18.

In unseren weiteren Versuchen werden wir zunehmend von der Darstellung mit Schaltsymbolen Gebrauch machen.

Wir sehen uns nach diesem Versuch in einem Elektrogeschäft einmal einen solchen Wecker an, ebenso einen Klingeltaster. Beides ist genauso aufgebaut wie unser Versuchsmodell. Beim Wecker wird lediglich auf den bei unserem Modell noch freien oberen „Schenkel" des Eisenkerns eine zweite Spule aufgesetzt, die mit der ersten in Reihe geschaltet ist und die Magnetkraft des Magneten verstärkt. Am Prinzip ändert sich dadurch natürlich nichts.

1.3. Das Relais — ein elektromagnetisch betätigter Schalter

Relais haben in der Technik sehr große Bedeutung. Prinzipiell bestehen sie aus einem Elektromagneten, der einen Anker anzieht. Dieser Anker betätigt gleichzeitig einen oder mehrere Schaltkontakte, die aber nicht mit dem Elektromagneten in Verbindung stehen. Eine Selbstunterbrechung findet also nicht statt, dagegen kann man — wie wir noch sehen werden — den Selbstunterbrecher als eine Spezialschaltung des allgemeinen Bauteiles „Relais" ansehen. Tatsächlich läßt sich grundsätzlich mit jedem Relais eine Selbstunterbrechung verwirklichen, wenn die Relaiskontakte in geeigneter Form mit der eigenen Relaiswicklung (der Spule desselben Relais) verbunden werden. Nichts anderes haben wir ja bei der Klingel gemacht. — Relais sind zu Tausenden zum Beispiel in den Fernsprechämtern vorhanden. Wenn wir eine Telefonwählscheibe drehen, betätigen wir damit gleichzeitig in der Wählerzentrale über ein Dutzend Relais, deren Kontakte für uns die gewünschte Verbindung herstellen. In der Starkstromtechnik wiederum haben wir eine andere Bauform des Relais, das sogenannte „Schaltschütz". Der Magnetanker betätigt dort Starkstromkontakte, so daß wir durch das Ein- und Ausschalten des relativ geringen Relaisspulenstroms über den Umweg der Relaiskontakte um ein Viel-

faches stärkere Ströme schalten können. Es gibt noch zahlreiche weitere Anwendungen, so daß wir uns wenigstens das Prinzip des Relais (gesprochen: r'läh) ansehen wollen. Unsere selbstgebaute Klingel aus Bild 17c und Bild 18 können wir leicht in ein Relaismodell umwandeln.

Bild 19 zeigt die Schaltung dafür. Der praktische Aufbau dürfte nach dem bei der Klingel Gesagten ohne nähere Erklärung verständlich sein. Neu ist lediglich ein zweiter Kontakt, „2", während Kontakt 1 bereits an unserer Klingel vorhanden war. Wir haben ihn im vorigen Versuch als Unterbrecherkontakt benutzt. Der Anker liegt also bei stromloser Spule (Taste T offen) an Kontakt 1 an. Schließen wir Taste T, so wird der Anker angezogen und berührt dann Kontakt 2 (diesen Kontakt müssen wir so anbringen, daß ihn der Anker oder Klöppelstiel der Klingel berührt, kurz bevor der Anker ganz am Spulenkern anliegt). Die Glocke der Klingel entfernen wir, der Klöppelstiel beziehungsweise Anker fungiert also jetzt nur noch als „Umschalterhebel", den wir mit der Spule magnetisch betätigen.

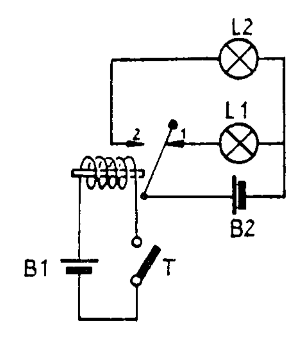


Bild 19
Aus unserer Klingel wird ein Relais (Funktionsschema)

Wie aus Bild 19 zu sehen ist, sind 2 Stromkreise vorhanden, die miteinander keinerlei Verbindung haben. Batterie B 1 – wieder eine 4,5-V-Taschenlampenbatterie – dient nur dazu, mit Taste T (für T können wir auch einen Einschalter beliebiger Art nehmen) den Magneten zu betätigen. Batterie B 2 dient zum Betrieb der beiden Lämpchen L 1 und L 2; die Art der Batterie richtet sich nach den Lampen, die wir für L 1 und L 2 benutzen wollen.

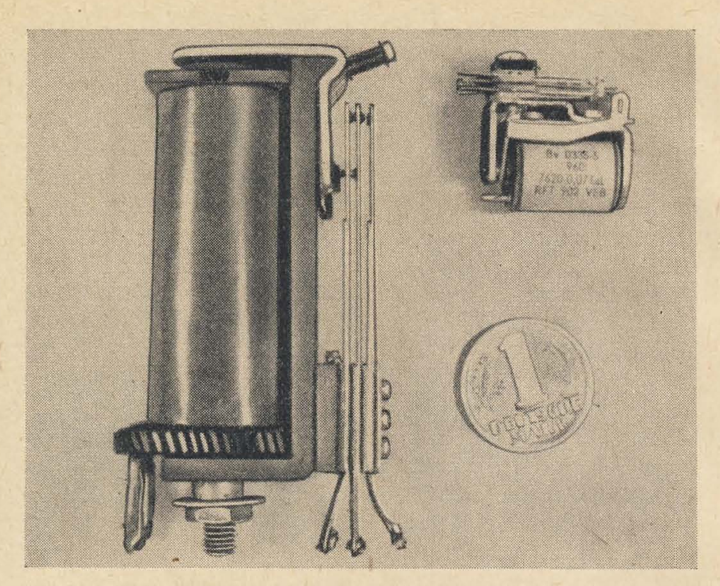


Bild I Ausführungsformen von Kleinrelais (zu Bild 19 und 20). Links ein älteres Fernmelderelais (Postrelais). Die Spule zieht den oben sichtbaren Anker an, der rechts oben drehbar gelagert ist und die rechts am Relaiskörper sichtbare mittlere Kontaktfeder bewegt. Diese liegt bei stromloser Spule an der linken, bei stromführender Spule (angezogenem Anker) an der rechten Gegenkontaktfeder an. Diese Relaisbauart kann bis zu 6 derartige Kontaktsätze gleichzeitig enthalten. Oben im Bild ein modernes Miniaturrelais nach dem gleichen Konstruktionsprinzip. Zum Größenvergleich ein Geldstück

Wenn Taste T offen und der Magnet damit stromlos ist, fällt der Anker vom Magneten ab, und über Kontakt 1 schließt sich der Stromkreis für Lampe L 1, L 1 brennt also. L 2 bleibt dunkel, weil ihr Stromkreis bei Kontakt 2 offen ist. Wir schließen nun mit T den „Steuerstromkreis" des Magneten (wir „steuern" mit diesem Stromkreis den zweiten mit den Lampen), der Anker wird angezogen und bleibt in angezogener Stellung, da hier keine Selbstunterbrechung vorliegt. Kontakt 1 wird also geöffnet, Lampe L 1 erlischt. Dagegen schließt der Anker nunmehr Kontakt 2, so daß jetzt Lampe L 2 leuchtet. Durch Einschalten des Steuerstromkreises mit T haben wir also eine Umschaltung (von Lampe L 1 auf Lampe L 2) in einem zweiten, hiervon ganz unabhängigen

Stromkreis erreicht. Bei Ausschalten des Steuerstromkreises mit T kehren sich die Verhältnisse wieder um.
Es ist ohne weiteres einzusehen, daß wir im Lampenstromkreis mit Batterie B 2 ganz andere Verhältnisse haben können als im Steuerstromkreis. Beispielsweise läßt sich die Magnetspule so wickeln, daß für Batterie B 1 schon eine kleine und schwache Batterie mit 1,5 V ausreicht. Für L 1 und L 2 können wir aber starke Lampen (etwa für 12 oder 24 Volt) und eine entsprechend starke Batterie verwenden. Wenn die Lampen beispielsweise sehr hohen Stromverbrauch haben, könnten wir sie nicht über eine längere Leitung aus größerer Entfernung direkt einschalten, denn eine lange Leitung hat entsprechend hohen Widerstand und würde also den Lampenstrom zu sehr schwächen. Wir bringen dann Lampen, Batterie B 2 und das Relais dicht nebeneinander unter und schalten lediglich die Relaisspule über eine größere Entfernung sowie entsprechend lange Leitung mit dem Schalter T ein. Auf der langen Leitung fließt dann nur der verhältnismäßig geringe Spulenstrom („Steuerstrom"), so daß wir die Fortleitung der starken Lampenströme über die längere Steuerleitung umgangen haben und für die Steuerleitung eine relativ dünne, billige Leitung verwenden können. Dies wäre ein Beispiel für die Anwendung eines Relais. An die Stelle der Lampen können auch andere Stromverbraucher, beliebige Geräte, Motoren oder weitere Relaisspulen treten, wenn nur die Kontakte 1 und 2 kräftig genug für die zu schaltenden Ströme gebaut sind. Wir könnten auch daran denken, beiderseits des Ankers mehr als 2 Kontakte anzuordnen und entsprechend mehr Stromkreise zu schalten. Tatsächlich werden bereits mit normalen Fernsprechrelais auf diesem Wege bis zu 6 und mehr unabhängige Stromkreise umgeschaltet; diese Umschaltung gelingt mit einem einzigen Steuerstromkreis, wie unser Versuchsaufbau schon erkennen läßt. Natürlich sind die Relais je nach Verwendungszweck verschieden konstruiert, das Prinzip ist aber stets das gleiche, obwohl etwa ein Starkstrom-Schaltschütz zum Einschalten starker Motoren (Triebwagensteuerungen zum Beispiel!) äußerlich nicht die geringste Ähnlichkeit mit einem Fernsprechrelais hat.

Um uns im „Lesen“ und Aufbauen umfangreicherer Schaltungen ein wenig zu üben, wollen wir den Versuch noch etwas erweitern. Wenn wir die Lampen L 1 und L 2 (Bild 19) so wählen, daß sie zu der „Steuerbatterie“ B 1 passen, dann können wir beide Stromkreise aus einer einzigen Batterie speisen. Bild 20 zeigt die hierfür in Frage kommende Schaltung, diesmal unter vollständiger Benutzung der Schaltsymbole. Die Funktionsweise ist die gleiche wie bei Bild 19: Bei geöffnetem Tastkontakt T ist M stromlos, der vom

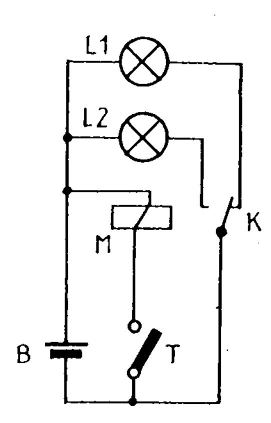


Bild 20
Schaltung für unser Relais unter Benutzung einer gemeinsamen Batterie. Erklärung im Text

Anker des Magneten betätigte Kontakt K (der Anker wird nicht gezeichnet, da er nicht unmittelbar zum Stromlauf gehört) steht also, wie gezeichnet, in rechter Stellung, so daß der Stromkreis für Lampe L 1 geschlossen ist. Sobald wir T schließen, ist der Stromkreis für M geschlossen; M zieht seinen Anker an, wodurch Kontakt K in die linke Stellung umgeschaltet wird. Nun ist der Stromkreis für L 2 geschlossen, der für L 1 geöffnet, also leuchtet jetzt L 2, und L 1 erlischt. Ein Vergleich mit Bild 19 zeigt, daß der Erfolg hier der gleiche ist. Allerdings sind Steuerstromkreis (über M und T) und Lampenstromkreise nicht mehr elektrisch voneinander getrennt. Trotzdem kann auch jetzt beispielsweise wieder der Steuerstromkreis aus größerer Entfernung be-

tätigt werden, indem man T über eine längere Leitung anschließt, ohne daß wir gezwungen sind, die Lampenströme über diese lange Leitung bis zum Einschaltort fließen zu lassen und deren Schwächung durch den Leitungswiderstand in Kauf zu nehmen. – Bei unserem Versuch können wir auch an Stelle einer der Lampen eine Klingel einschalten, die – bei L 2 eingeschaltet – klingelt, wenn T gedrückt wird, während sie – bei L 1 eingeschaltet – ständig klingelt und nur bei Drücken von T verstummt.

D Die Induktion

1. Magnetische Induktion

In Abschnitt A hatten wir uns bereits mit elektromagnetischen Wirkungen beschäftigt. Unter anderem stellten wir fest, daß jeder stromdurchflossene Leiter ein konzentrisches Magnetfeld um sich aufbaut. Wir wollen nun untersuchen, ob sich dieser Vorgang umkehren läßt, das heißt, ob es möglich ist, durch Einwirkung eines Magnetfeldes auf einen Leiter elektrischen Strom zu erzeugen.

1.1. Bei Einwirkung eines Magnetfeldes auf einen Leiter entsteht elektrischer Strom

Um diesen Vorgang nachzuweisen, benötigen wir einen Permanentmagneten (z. B. einen Spielzeughufeisenmagneten oder den Permanentmagneten eines alten, defekten Lautsprechers).
Der entstehende Strom ist verhältnismäßig schwach. Um ihn mit unseren Hilfsmitteln nachzuweisen, verwenden wir daher einen möglichst kräftigen Permanentmagneten. Damit wir den Leiter stärker beeinflussen können, wickeln wir ihn wieder zu einer Spule auf, die zur besseren Konzentration der magnetischen Kraftlinien einen Eisenkern erhält. Wir verwenden dazu die bereits früher benutzte Spule (siehe Bild 16 und vorigen Abschnitt). Gut geeignet ist jetzt auch eine alte Radionetzdrossel, bei der wir den Kern-Quersteg entfernen, so daß beim Aufsetzen des Permanentmagneten möglichst der ganze Kraftlinienfluß vom Magneten in den Spulenkern übergehen kann, ohne durch lange Luftwege geschwächt zu werden. Bild 21 zeigt die Anordnung. Als Nachweismittel für den entstehenden Strom verwenden wir wieder unser Kompaß-Galvanometer, dem wir für diesen Versuch möglichst viele Drahtwindungen aufwickeln. Das Galvanometer wird mit der Spule verbunden, wie Bild 21 zeigt. Abwechselnd setzen wir nun den Magneten schnell auf die Spule auf und reißen ihn dann plötzlich wieder weg.

Wir stellen fest, daß die Kompaßnadel beim Aufsetzen kurz nach einer Seite ausschlägt, dann aber wieder in Ruhestellung zurückgeht. Beim Wegreißen des Magneten schlägt sie nach der anderen Seite aus und geht auch dann wieder in Ruhestellung zurück.

Damit der Versuch einwandfrei gelingt, muß der Kompaß so weit von unserem Permanentmagneten entfernt sein, daß er von diesem nicht direkt magnetisch beeinflußt wird (etwa 1 Meter), die Verbindungsleitung zwischen Spule und Kompaß-Galvanometer hat entsprechend lang zu sein.

Wie wir leicht erkennen, wird kein Strom in der Spule erzeugt, solange das Magnetfeld unverändert bleibt (wobei es keine Rolle spielt, wie stark dieses ist). Wird das Magnetfeld stärker (bei Annäherung des Magneten) oder schwächer (beim Wegreißen), so entsteht ein Stromstoß. Dessen Richtung hängt davon ab, in welcher Richtung (stärker oder schwächer) sich das Magnetfeld ändert, seine Stärke oder die Höhe der in der Spule „induzierten" Spannung unter anderem von der Schnelligkeit, mit der sich das Magnetfeld ändert. Die Erscheinung wird tatsächlich um so deutlicher, je schneller wir den Magneten bewegen können. Eine weitere Erscheinung läßt sich mit unseren Mitteln schwer nachweisen, ist aber nach dem Gesagten verständlich: Der Stromfluß hält so lange an, wie sich der Magnet bewegt beziehungsweise sich das Magnetfeld in seiner Stärke ändert. — Wir können uns die Spule als eine große Zahl von hintereinandergeschalteten einzelnen Leitern (nämlich den Windungen, vgl. Bild 6 a, b, c!) vorstellen. Die in den einzelnen Windungen induzierten Spannungen addieren sich durch diese Serienschaltung, ähnlich wie sich die Spannungen von

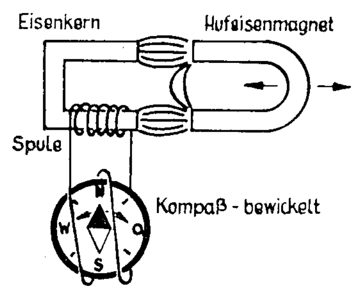


Bild 21
Versuchsanordnung zum Nachweis der Induktionswirkung

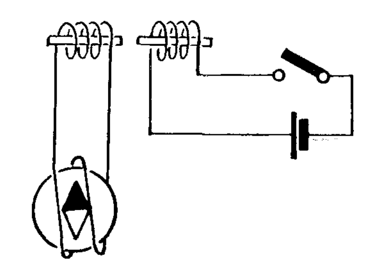
in Serie geschalteten Batterien addieren. Wir können diese Tatsache ebenfalls leicht nachprüfen, indem wir von der Spule etwa die Hälfte der Windungen abwickeln: Der induzierte Stromstoß ist dann nur halb so stark. Grundsätzlich wäre es auch möglich, einen einfachen geraden Leiter (ähnlich Bild 5) im Kraftlinienfeld des Magneten zu bewegen. Jedoch können wir diesen Versuch nicht praktisch ausführen, da der dabei entstehende Stromstoß zu schwach ist, um ihn mit unseren Mitteln noch festzustellen.
Wir erkennen: Die Richtung des erzeugten Stromstoßes — oder, was das gleiche ist, die Polarität der induzierten Spannung — hängt davon ab, in welchem Sinne sich das Magnetfeld ändert. Durch einen Zusatzversuch können wir leicht beweisen, daß sie auch von der Polarität des Magneten abhängt: Wir brauchen dazu nur nach Bild 21 Nord- und Südpol des Magneten zu vertauschen, so daß die Spule im umgekehrten Sinn von den Kraftlinien durchflossen wird. Die Ausschläge der Kompaßnadel erfolgen dann genau entgegengesetzt der beim ersten Versuch ermittelten Richtung.
Die Höhe der induzierten Spannung hängt erstens von der Schnelligkeit ab, mit der sich das Magnetfeld ändert, zweitens von der Anzahl der Windungen auf der Spule; sie steigt mit höherer Windungszahl und mit steigender Schnelligkeit der Magnetfeldänderung. Drittens hängt die Höhe der induzierten Spannung noch von der Stärke des Magnetfeldes ab. Wir können auch das durch einen Zusatzversuch feststellen, wenn wir das Experiment einmal mit einem recht kräftigen Magneten, danach aber mit einem schwächeren Magneten durchführen. Der schwächere Magnet ergibt erwartungsgemäß auch schwächere Stromstöße.

2. Elektromagnetische Induktion

2.1. Da ein Elektromagnet die gleichen Eigenschaften hat wie ein Permanentmagnet, ist zu erwarten, daß der vorige Versuch auch gelingt, wenn an Stelle des Permanentmagneten ein Elektromagnet benutzt wird

Wir benötigen für diesen Versuch 2 Spulen mit Eisenkern, die wir wieder durch Bewickeln von Garnrollen erhalten

Bild 22
An Stelle des Magneten (Bild 21) ist jetzt ein Elektromagnet getreten. Erklärung im Text



können. Bild 22 zeigt schematisch die Anordnung. Die Spulenkerne können, um den Effekt zu verstärken, auch hier wieder, wie in Bild 21, U-förmig gebogen und gegeneinandergekehrt sein. Der Schalter in Bild 22 soll zunächst ständig eingeschaltet sein. Die rechte Spule erhält also Strom und stellt einen Elektromagneten dar. Die linke Spule mit dem angeschlossenen und in genügendem Abstand aufgestellten Kompaß-Galvanometer entspricht der Anordnung nach Bild 21. — Wir wiederholen nun die Versuche des vorangegangenen Abschnitts und stellen fest, daß wir zu den gleichen Ergebnissen kommen. Zwischen Elektromagnet und Permanentmagnet besteht also kein grundsätzlicher Unterschied. Den Einfluß verschieden starker Magnetfelder können wir hier untersuchen, indem wir unseren Elektromagneten (rechte Spule) einmal mit schwächerem Strom, dann mit stärkerem Strom betreiben. Wir benutzen zu diesem Zweck einmal eine Batterie mit 1,5- oder 2-V-Spannung (Monozelle oder Trockenakku), zum anderen eine 4,5-V-Taschenlampenbatterie.

Das Annähern und Entfernen des Magneten hatte nur den Zweck, das Magnetfeld plötzlich zu verändern. Hierfür bietet sich beim Elektromagneten noch eine andere Möglichkeit: Wir lassen beide Spulen eng aneinandergesetzt und schalten statt dessen den Batteriestrom mit dem Schalter ein und aus, so daß das Magnetfeld besonders schnell auftritt und wieder verschwindet. Da diese Änderung schneller vor sich geht als das Bewegen des Magneten von Hand, werden wir jetzt im Kompaß besonders kräftige Ausschläge beobachten, wobei die Nadel beim Einschalten nach der einen, beim Ausschalten nach der anderen Seite ausschlägt.

Mit der Anordnung nach Bild 22 haben wir Elektrizität in Magnetismus (rechte Spule) und diesen gleich wieder in Elektrizität (linke Spule) umgewandelt, also die Umkehrbarkeit beider Vorgänge bewiesen. Da zum Bewegen der Kompaßnadel eine – wenn auch geringe – mechanische Kraft erforderlich ist, haben wir gleichzeitig bewiesen, daß man eine Kraft über den Umweg des Magnetismus übertragen kann.

3. Selbstinduktion

Wir stellten fest: Wenn ein elektrischer Leiter sich in einem veränderlichen Magnetfeld befindet, wird in ihm eine elektrische Spannung induziert. Betrachten wir nochmals Bild 22. Dort befindet sich nicht nur die Wicklung der linken Spule unter dem Einfluß des Magnetfeldes, sondern ebenso auch die rechte Spule des Elektromagneten, der dieses Magnetfeld erst erzeugt. Es ist zu vermuten, daß das durch diese Spule erzeugte Magnetfeld auch auf die eigenen Spulenwindungen zurückwirkt und dort zusätzlich zu dem von der Batterie gelieferten Strom eine Induktion hervorruft. Diesen Vorgang nennt man „Selbstinduktion".
Der Nachweis der Selbstinduktion ist mit unseren Mitteln nur indirekt möglich. Wir verzichten bei der Anordnung Bild 22 auf die linke Spule und den Kompaß. Für die rechte Spule brauchen wir jetzt eine möglichst hohe Windungszahl (möglichst mehrere 1000 Windungen), was beim Selbstbau genügend dünnen Draht sowie etwas Sorgfalt und Geduld beim Wickeln verlangt. Besser geeignet ist eine normale kleine Radionetzdrosselspule, die ebenfalls nichts anderes als eine Spule hoher Windungszahl darstellt und zugleich eine zweite wichtige Voraussetzung erfüllt: Um eine Schwächung des Magnetfeldes zu vermeiden, muß die Spule jetzt einen geschlossenen Kern haben, das heißt, der Kraftlinienfluß sollte auf seinem ganzen Weg durch Eisen, nirgends durch die Luft verlaufen. Wir schalten die Spule an die Batterie, wobei wir – um den Effekt zu verstärken – eine möglichst hohe Batteriespannung (10 bis 20 Volt) benutzen (mehrere Batterien in Serie schalten). Mit dem angefeuchteten Zeigefinger berühren wir nun gleichzeitig beide Anschlüsse der Spule und schalten

dann die Batterie ab. Im Moment des Abschaltens bemerken wir deutlich einen kleinen elektrischen Spannungsstoß im Finger.

Die Selbstinduktion auf die eigene Wicklung des Elektromagneten besteht tatsächlich; sie ist wiederum um so stärker, je mehr Windungen die Spule hat und je stärker das Magnetfeld ist (deshalb der geschlossene Eisenkern!). Aus Gründen, die uns hier nicht näher interessieren sollen, hat die beim Einschalten des Batteriestroms in der Spule induzierte Spannung stets eine Polarität, die der der Batterie entgegengesetzt ist. Sie wirkt also der Batteriespannung entgegen, und aus diesem Grund kann der Strom durch die Spule nicht sofort seinen durch den Widerstand der Wicklung bestimmten Höchstwert erreichen. Der Strom steigt also nur allmählich an, demzufolge baut sich auch das Magnetfeld der Spule nur allmählich auf, was wiederum eine dauernde Selbstinduktionswirkung zur Folge hat. Erst wenn der Strom durch die Spule seinen durch den Wicklungswiderstand bestimmten Höchstwert erreicht hat, bleibt er — und damit auch das Magnetfeld — konstant, die Induktionswirkung hört auf. — Beim Abschalten des Spulenstroms geschieht das Gegenteil. Nach den Erfahrungen bei den vorigen Versuchen muß die Induktionsspannung in diesem Moment entgegengesetzte Richtung wie zu Beginn haben, also jetzt der Batteriespannung gleichgerichtet sein. Das aufgebaute und konstante Magnetfeld stellt einen bestimmten Energiebetrag dar, der im Eisenkern gewissermaßen „gespeichert" ist. Das beweist schon der vorangegangene Versuch, bei dem wir im Moment des Ausschaltens (Bild 22) einen Ausschlag der Kompaßnadel wahrnahmen. Da zu diesem Zeitpunkt der Schalter bereits offen ist, kann die Kraft, die die Nadel jetzt bewegt, nicht mehr unmittelbar aus der Batterie stammen, denn deren Stromkreis besteht ja in diesem Moment schon nicht mehr. Die Kraft, die die Nadel beim Abschalten auslenkt, entstammt daher tatsächlich der im Magnetfeld gespeichert gewesenen und bei dessen „Zusammenbrechen" und Verschwinden frei werdenden Energie.

Im Moment des Abschaltens unserer Selbstinduktionsspule bricht auch hier das Magnetfeld zusammen und induziert in der Spule eine der Batteriespannung gleichgerichtete Span-

nung. Zu diesem Zeitpunkt ist aber der Schalter bereits geöffnet, und da es auch keine „Sekundärspule“ gibt, die die frei werdende Energie übernehmen kann und (wie z. B. nach Bild 22 zum Galvanometer) weiterleiten könnte, bewirkt die frei werdende Energie des Magnetfelds ein Ansteigen der induzierten Spannung auf sehr hohe Beträge, die unter Umständen sehr weit über dem Betrag der ursprünglichen Batteriespannung liegen können. Wenn wir den Schalter langsam genug öffnen, bahnt sich diese Spannung einen Weg über den im ersten Moment noch sehr kleinen Zwischenraum zwischen den Schalterkontakten, und wir können dort deutlich ein Fünkchen sehen, das von der hohen Selbstinduktionsspannung herrührt. Dieser „Abschaltfunke“ tritt stets beim Abschalten von Elektromagneten auf und bereitet bei größeren Spulen den Technikern und Konstrukteuren oft große Sorgen, da er die Schalterkontakte und Isolierungen stark beansprucht. In unserem Versuch haben wir diese Abschaltspannungsspitze als leichten elektrischen „Schlag“ in dem parallel zur Spule liegenden Finger gespürt. Damit ist gleichzeitig bewiesen, daß diese Spannung (bei ausreichend hoher Windungszahl der Spule) tatsächlich weit höher als die Batteriespannung ist, deren Wirkung wir mit dem Finger noch nicht spüren können. Natürlich stellt dies einen völlig harmlosen Versuch dar, denn der Energieinhalt dieses Spannungsstoßes ist bei unserer Spule entsprechend dem relativ geringen Magnetfeld viel zu klein, als daß er Schaden anrichten könnte.
Erwähnt sei noch, daß der Stromanstieg beim Einschalten der Spule nicht augenblicklich, sondern allmählich erfolgt. Wir können diesen Einschaltvorgang aber mit unseren Mitteln nicht nachweisen, da die Zeitverzögerung bis zum Erreichen des maximalen Spulenstroms bei unseren Spulen nur Bruchteile einer Sekunde beträgt.
Die Abschaltspannung können wir aber zum Bau einer Elektrisiermaschine ausnutzen. Betrachten wir nochmals Bild 18. Bei unserer Klingel wird ebenfalls eine Spule ständig an- und abgeschaltet, auch in ihr entsteht daher beim Abschalten – immer wenn der Unterbrecherkontakt öffnet – eine Abschaltspannungsspitze. Sie bewirkt am Unterbrecherkontakt eine auffallend starke Funkenbildung. Wir können

nun unsere Klingelspule mit möglichst vielen Windungen versehen und die Batteriespannung entsprechend erhöhen, damit der Magnetstrom trotz des dann höheren Spulenwiderstands noch kräftig genug ist, um den Anker zu betätigen. Nun verbinden wir mit jedem Spulenende eine Griff-Elektrode, die etwa aus einem Stückchen Metallrohr bestehen kann. Beim Betrieb dieser Unterbrecherschaltung (die Glocke wird entfernt) spüren wir, wenn wir die Elektroden in beide Hände nehmen, laufend die Abschaltinduktionsspannungen; allerdings muß die Windungszahl der Spule hoch genug sein. Die Stärke der Elektrisierung können wir durch geeignete Wahl der Batteriespannung leicht bestimmen. Bei diesem Aufbau werden wir dann am Unterbrecher ganz erwartungsgemäß eine sehr starke Funkenbildung bemerken, die nach einiger Zeit zum Aussetzen der Anordnung führen kann, weil der Unterbrecherkontakt verschmort ist und keine Verbindung mehr ergibt. Noch ein kleiner Hinweis: Führen Sie diesen Versuch nicht allzulange durch. Ihre rundfunkhörenden Nachbarn werden es Ihnen danken. Kontaktfunken erzeugen bekanntlich Rundfunkstörungen, und unseren Versuchsaufbau dürfte man im ganzen Hause „empfangen“. Die Gründe dafür zu erläutern, ginge aber bereits weit über den Rahmen dieses Büchleins.

4. Der Transformator

4.1. Wir wollen untersuchen, was bei der Versuchsanordnung nach Bild 22 geschieht, wenn wir den Schalter in immer schnellerer Folge ein- und ausschalten

Zu diesem Zweck ersetzen wir den Schalter durch einen Druckknopf (Klingeltaster), den wir in rascher Folge drücken. Wir beobachten, daß die Kompaßnadel zu träge ist, den schnell aufeinanderfolgenden Ausschlägen nach beiden Seiten noch zu folgen. Sie pendelt unregelmäßig und würde völlig ruhig in Mittelstellung bleiben, wenn wir schnell und gleichmäßig genug drücken könnten, was praktisch kaum gelingen wird. Unser Galvanometer ist also zum Nachweis schnell aufeinanderfolgender Stromschwankungen zu träge. Wir müssen

uns nach einem geeigneteren Nachweismittel umsehen. In Frage kommt ein Kopfhörer oder auch die Hörmuschel eines Fernsprechhörers. Falls wir keinen Kopfhörer haben, versuchen wir, bei einem Freund einen zu leihen, oder führen die entsprechenden Versuche in einem GST- oder Pionierzirkel durch. Kopfhörer sind leider nicht ganz billig, dagegen lassen sich einfache Posthörkapseln aus Altbeständen gelegentlich in einschlägigen Werkstätten billig beschaffen.
Zunächst schrauben wir bei einem Kopfhörer Muschel und Membran ab, um den Aufbau und die Wirkungsweise zu studieren, was ohne weiteres in einer Werkstatt oder einem Ladengeschäft möglich ist, ohne daß wir den Kopfhörer kaufen müssen.
Wir werden feststellen, daß in dem Hörer lediglich 1 oder 2 Spulen — meist in Serie geschaltet — vorhanden sind, die auf einem Eisenkern sitzen. Dieser Kern ist ein Permanentmagnet, was wir bereits beim Abnehmen der Membran bemerken. Dicht vor den Polen dieser Spulen sitzt die Membran, ein einfaches, dünnes Metallblättchen. Schicken wir durch die Kopfhörerspule einen Strom, so wird die Membran angezogen, und zwar um so mehr, je stärker der Strom ist. Sie biegt sich also ein wenig durch. Folgen die Stromschwankungen sehr schnell aufeinander, so paßt sich die Membran diesen Schwankungen an; sie biegt sich also im Rhythmus durch, sie schwingt. Die Schwingungen werden, falls sie schnell genug folgen, als Ton hörbar. Damit können wir schnelle Stromschwankungen hörbar machen und auf diese Art nachweisen. Die stark vereinfachte Erklärung reicht für unsere Zwecke zunächst aus. Den Hörer schließen wir jetzt nach Bild 22 an Stelle unseres Kompaß-Galvanometers an. Wir werden dann jedesmal beim Aus- und Einschalten ein Knackgeräusch vernehmen.
Um den Strom schneller ein- und auszuschalten, als das von Hand möglich ist, benutzen wir nun wieder unseren Selbstunterbrecher aus Bild 17 c und Bild 18. Falls wir ihn nicht selbst aufbauen wollen, können wir dafür auch eine ganz normale Gleichstromklingel verwenden. Unseren Elektromagneten — die rechte Spule in Bild 22 — schließen wir nun nicht an Batterie und Schalter, sondern parallel zu der Spule des Unterbrechers beziehungsweise der Klingel (deren Glocke

wir entfernen) an. Dann wird unser Elektromagnet bei laufendem Unterbrecher stets zusammen mit der Unterbrecherwicklung von dem Unterbrecherkontakt aus- und eingeschaltet. Diese Unterbrechungen erfolgen so schnell, daß der Kompaß nicht mehr reagiert, weshalb wir an seiner Stelle jetzt den Kopfhörer anschließen. Im Kopfhörer vernehmen wir nunmehr ein rauhes Knattern, das von den schnell folgenden, in der linken Spule induzierten Stromstößen herrührt. Wie wir aus den ersten Versuchen mit der Anordnung nach Bild 22 wissen, erfolgen diese Stromstöße beim Ein- und Ausschalten der rechten Spule in einander entgegengesetzter Richtung. Die linke Spule gibt also einen stoßweisen Strom ab, der in seiner Richtung ständig wechselt. Diesen Strom nennt man „Wechselstrom". Wir lernen hier einen neuen Begriff kennen. Bisher hatten wir es stets nur mit Strömen zu tun, die in einer Richtung flossen (z. B. bei allen Batterien), die man daher als Gleichstrom bezeichnet.
Grundsätzlich kann auch ein Wechselstrom in Ampere gemessen werden und eine Wechselspannung in Volt. Bei der Wechselspannung beziehungsweise dem Wechselstrom ist jedoch noch eine dritte Kenngröße von Bedeutung: die Schwingungszahl oder Frequenz. Ihr Formelzeichen lautet f, gemessen wird sie in Hz (Hertz = Schwingungen pro Sekunde). 50 Hz bedeutet also: Der Wechselstrom fließt in jeder Sekunde 50mal in der einen und 50mal in der anderen Richtung. Mit Einzelheiten dieser „Wechselstromtechnik" wollen wir uns jedoch nicht beschäftigen, da es uns hier auf die wichtigsten Grundlagen der Elektrotechnik ankommt. Erwähnt seien in diesem Zusammenhang nur noch die Begriffe „Drehstrom" und „Allstrom". Drehstrom ist keine besondere Stromart, sondern stellt lediglich eine besondere Kombination dreier, voneinander in bestimmter Weise abhängiger Wechselspannungen oder Wechselströme dar. Anwendung in der Starkstromtechnik zum Antrieb von Motoren und so weiter. — Allstrom ist im Grunde genommen nichts weiter als eine sprachliche Unkorrektheit, die sich aber allgemein eingebürgert hat, insbesondere in der Rundfunktechnik. Es gibt keinen Allstrom, es gibt lediglich Allstromgeräte. Man versteht darunter Geräte, die sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom betrieben werden können. Das ist alles. Unsere

Glühlämpchen sind zum Beispiel Allstromgeräte, denn dem Glühfaden macht es nichts aus, in welcher Richtung der Strom gerade fließt. Erfolgen die Richtungswechsel schnell genug, so sorgt die Wärmeträgheit des Glühdrahtes dafür, daß das Lämpchen ebenso ruhig wie bei Gleichstrom brennt. Unser Kompaß-Galvanometer dagegen ist ein Gleichstromgerät; schnellen Richtungswechseln kann die Kompaßnadel nicht mehr folgen.

Nach dieser kleinen Abschweifung zurück zu unserer Versuchsanordnung. Die rechte der beiden zusammengesetzten Spulen aus Bild 22 hatten wir der Spule eines Unterbrechers parallelgeschaltet, an die linke ist unser Hörer angeschlossen. Durch die periodischen Unterbrechungen des Spulenstroms der rechten Spule kam es zur Induktion einer Wechselspannung in der linken, der wir daher einen — wenn auch recht schwachen — Wechselstrom entnehmen können. Bei unserer Versuchsanordnung ist er noch zu schwach, um beispielsweise mit einem Lämpchen nachweisbar zu sein. Da beide Spulen gleich sind, können wir natürlich auch rechte und linke Spule vertauschen.

In einem Zusatzversuch wickeln wir nun von der linken Spule die Hälfte des Drahtes ab. Danach wird der Hörer wieder angeschlossen. Der schnarrende Ton ist jetzt leiser. Wie zu erwarten, nimmt also die Spannung unseres Wechselstroms mit der Windungszahl der induzierten Spule ab, was ja auch vollständig unseren früheren Versuchen mit dieser Anordnung entspricht. Machen wir einmal die Gegenprobe und wickeln wir nicht die linke, sondern die rechte Spule zur Hälfte ab. Erstaunlicherweise wird jetzt der Ton im Hörer lauter, die von der linken Spule abgegebene Spannung ist also gestiegen. Das erklärt sich wie folgt: Wenn die rechte Spule, der wir den periodisch unterbrochenen Batteriestrom zuführen, weniger Windungen hat, wird auch ihr Widerstand geringer, vor allem aber auch ihre Selbstinduktion. Beides bewirkt, daß in ihr jetzt ein stärkerer Strom fließen kann und daher das von ihr erzeugte Magnetfeld stärker ist als zuvor. Das stärkere Magnetfeld erzeugt in der linken Spule demgemäß eine höhere Wechselspannung.

Wir wollen uns nicht zu weit in Einzelheiten verlieren, sondern uns statt dessen einmal einen Klingeltransformator an-

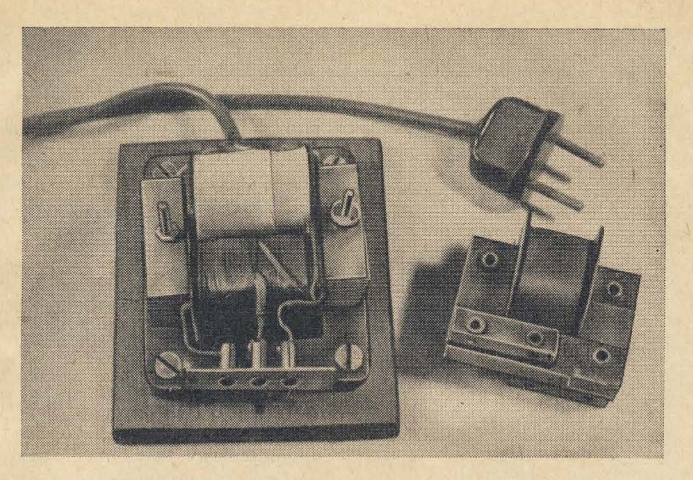


Bild K Links ein Klingeltransformator (Haube abgenommen), hier für Experimentierzwecke mit Netzschnur (Netzwicklung mit vielen Windungen, oben) und Anschlußbuchsen für die Niederspannung (Wicklung mit weniger Windungen, unten) versehen. Vergleiche mit Bild 23. Rechts eine Spule mit geschlossenem Eisenkern (Radiodrosselspule), wie sie für Versuchszwecke als Selbstinduktionsspule (Textabschnitt D-3.) verwendbar ist. Durch Entfernen eines Eisenquersteges kann sie zu einem Elektromagneten mit offenem Kern (ähnlich Bild 21) umgewandelt werden. Diese Spulen enthalten meist mehrere 1000 Windungen mit Drahtdurchmessern um 0,1 bis 0,3 mm

sehen. Ihn gibt es in jedem Elektrogeschäft, und man wird uns dort gern einmal den Deckel abnehmen lassen, falls wir es nicht vorziehen, ihn für unsere Versuche gleich zu kaufen. Sein prinzipieller Aufbau ist schematisch in Bild 23 angedeutet. Bekanntlich dient er dazu, die Wechselspannung des Lichtnetzes (meist 220 Volt) auf eine ungefährliche Spannung von wenigen Volt zu reduzieren. Sein Aufbau entspricht weitgehend unserer Anordnung nach Bild 22. Auf einem geschlossenen Eisenkern sitzen 2 Spulen. Der einen — sie hat viele Windungen dünnen Drahtes — wird der Wechselstrom aus dem Lichtnetz zugeführt, sie entspricht der rechten Spule in unserem Bild 22. Die andere Spule weist nur wenige Windungen dickeren Drahtes auf, ihr entnehmen wir die herabgesetzte Spannung. Man nennt die Spule, der der Wechselstrom zugeführt wird, stets Primärspule oder Primärwicklung

(Spule S 1 in Bild 23), die Spule aber, der wir die Wechselspannung entnehmen, Sekundärspule (Spule S 2 in Bild 23). In Bild 22 wäre demzufolge rechts die Primär-, links die Sekundärspule, denn diese Anordnung ist bereits die Grundform eines Transformators. Bei bestimmten Ausführungsformen von Trafos werden sehr häufig auch beide Spulen auf einen Spulenkörper übereinandergewickelt, was am Prinzip nichts ändert.

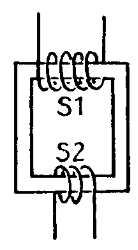


Bild 23 Prinzipskizze eines Transformators

Wir erfuhren schon, daß beide Spulen vertauschbar sind. Also müßte man auch eine geringe Wechselspannung von 3, 5 oder 8 V in die entsprechende Spule des Klingeltransformators hineinschicken und dafür an der anderen Spule 220 V entnehmen können. Eingehende Experimente dazu sind mit unseren einfachen Mitteln leider nicht möglich. Wir wollen uns lediglich merken, daß sich bei einem Transformator die Spannungen der Primär- und Sekundärspule zueinander wie die Windungszahlen verhalten: Hat die Sekundärspule nur $^1/_{10}$ der Windungszahl der Primärspule, so können wir ihr stets nur $^1/_{10}$ der in die Primärspule hineingeschickten Spannung entnehmen, hat sie die 5fache Windungszahl, so gibt sie die 5fache Spannung ab. Die Ströme verhalten sich dagegen genau umgekehrt: Im obigen Beispiel würde die Sekundärspule bei $^1/_{10}$ der Primärspannung das 10fache der Stromstärke liefern können, die die Primärspule aufnimmt, beim 5fachen der Primärspannung dagegen nur $^1/_5$ des Primärstroms. Den Grund dafür erfahren wir im nächsten Abschnitt. Hier nur soviel dazu: Die Sekundärspule kann natürlich nur die Energiemenge abgeben, die die Primärspule aufnimmt (abzüglich geringer Verluste im Transformator). Da diese Energiemenge der elektrischen Leistung proportional ist,

muß die Leistung der Primärseite der der Sekundärseite entsprechen, denn der Transformator ist ja keine Energiequelle, sondern ein Wandler, er kann also keine Energieverstärkung bewirken. Die Leistung errechnet sich aber, wie wir sehen werden, aus Strom und Spannung. Daher kann auf der Sekundärseite bei erhöhter Spannung nur geringerer Strom entnommen werden und umgekehrt. Diese knappen Hinweise mögen hier genügen.
Übrigens: Techniker lieben Abkürzungen. Wenn Sie einmal einen Fachmann von einem „Trafo" reden hören, so meint er damit einen Transformator.

5. Das Dynamoprinzip

5.1. Wie wird nun eigentlich eine Wechselspannung erzeugt?

Einen Weg — den durch periodische Unterbrechung einer Gleichspannung — haben wir bereits kennengelernt. Bild 24 zeigt das Prinzip zur Erzeugung einer Wechselspannung unmittelbar aus mechanischer Kraft. Es hat große Ähnlichkeit mit dem Prinzipversuch nach Bild 21. Wir haben dort die Magnetfeldänderung im Spulenkern durch Entfernungsänderung des Magneten bewirkt. Jetzt benutzen wir einen Stabmagneten, der im Mittelpunkt drehbar gelagert ist. Wenn wir ihn in der angedeuteten Weise schnell um sein Achse drehen, entsteht der gleiche Effekt wie bei Bild 21, jedoch gleitet nun abwechselnd der Nord- und der Südpol des Magneten an der Spule vorbei. Die entstehenden Stromstöße haben also wechselnde Richtung: An den Anschlüssen der Spule ist eine Wechselspannung nachweisbar.
Leider wäre diese Spannung bei unserem Versuch zu schwach, als daß wir sie mit unseren Mitteln nachweisen könnten; wir

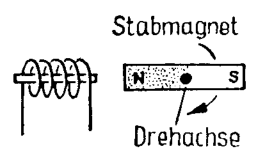


Bild 24
Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung elektrischer Spannung durch Induktion. Der Stabmagnet wird hier um seine Achse gedreht. Die induzierte Spannung wechselt daher dauernd ihre Polarität: Wechselspannung

müssen uns hier also ausnahmsweise auf das „Gedankenexperiment“ beschränken, das aber nach dem früher Gesagten sicher ohne weiteres verständlich ist.

Wir können die abgegebene Spannung verstärken, indem wir wieder für eine Konzentration des Magnetfelds sorgen. Das kann geschehen, indem wir einen Hufeisenmagneten verwenden, wie ihn Bild 25 zeigt. Statt des Magneten lassen wir jetzt die Spule rotieren, die Wirkung ist die gleiche. In dieser Weise können wir — wenn die Spule genügend schnell rotiert — schon einen recht kräftigen Wechselstrom erzeugen. Ein Modell nach Bild 25 brauchen wir nicht erst zu bauen, Sie kennen es nämlich schon.

Haben Sie ein Fahrrad? Wenn ja, dann haben Sie daran auch einen Fahrraddynamo. Falls nicht, kaufen Sie schnell einen, unsere Volkspolizei wäre Ihnen sonst sehr böse. Außerdem können Sie dann den Dynamo gleich einmal öffnen. Nach Abnehmen des Gehäuses werden Sie genau den Aufbau nach Bild 25 finden. Meist stehen 2 Magnete über Kreuz, dann sind auch 2 über Kreuz angeordnete und in Reihe geschaltete Spulen vorhanden. Deren Eisenkern ist gerundet ausgebildet und wird „Anker-Pol“ genannt, das ganze drehbare Gebilde ist der „Anker“. Die Enden der Magnetpole sind ebenfalls gerundet und nennen sich „Polschuhe“.

Vielleicht haben Sie sich zu Beginn dieses Absatzes schon gefragt, wie wir vorgehen, damit sich die Zuleitungen zur Spule bei ihrer Drehung nicht immer mehr verdrillen. Sehen Sie sich einmal an, wie die Konstrukteure dieses Problem beim Fahrraddynamo gelöst haben: Ein Spulenpol ist mit der Achse und über deren Lagerung mit dem Dynamogehäuse verbunden. Der andere führt an einen isolierten Schleifkontakt, an den in Verlängerung der Achse eine Kontaktfeder andrückt, die die Verbindung zu der am Gehäuse-

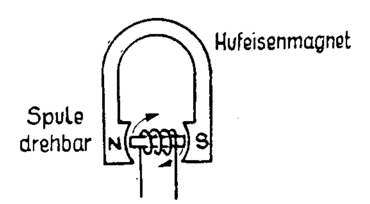


Bild 25
Anstatt den Magneten zu drehen, kann auch die Spule zwischen den Polen des feststehenden Magneten gedreht werden. Prinzipieller Aufbau einer Wechselstrom-Dynamomaschine. Erklärung im Text

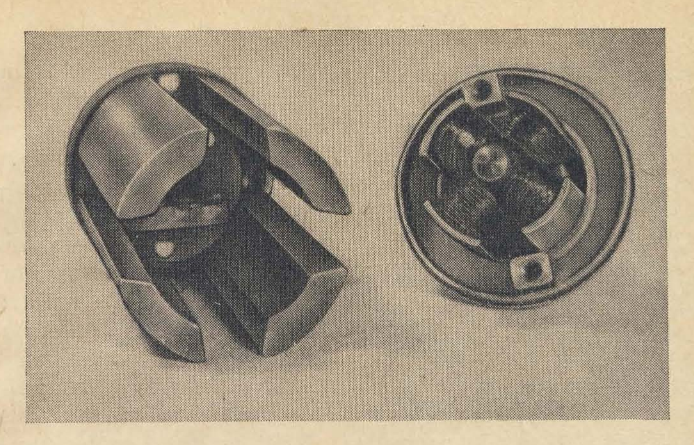


Bild L Inneres eines Fahrraddynamos (vgl. Bild 25). Rechts der Oberteil. Der 4teilige Anker (2 Spulen nach Bild 25 über Kreuz) wird vom Fahrrad angetrieben. Im Spulenmittelpunkt ist der Schleifkontakt erkennbar, über den ein Pol der Spannung abgegriffen wird. Links der Magnetkörper, dem Anker entsprechend 2 hufeisenähnliche Magnete über Kreuz angeordnet, zwischen deren Polen sich der Anker dreht. Dazwischen die gegen den Ankerkontakt drückende feststehende Kontaktfeder, die die Verbindung zum Anschlußkontakt am Boden des Dynamos herstellt. Der andere Spulenpol wird über die Ankerachse und das Gehäuse des Dynamos abgegriffen. Die Ankerspulen sind in Serie geschaltet

boden vorhandenen Kontaktschraube herstellt. Von dieser Kontaktschraube führt ein Draht zum Fußkontakt der Birne im Scheinwerfer. Die zweite Leitung vom Gewinde des Lämpchens zum Dynamogehäuse wird durch den metallischen Fahrradrahmen gebildet.

5.2. Wir hörten früher bereits von der Umkehrbarkeit der elektromagnetischen Wirkung

In den Dynamo stecken wir mechanische Energie hinein (zum Drehen der Ankerspule) und erhalten elektrische Energie zurück. Ganz recht, es ist die Kraft, die Sie zum Treten zusätzlich aufwenden müssen, wenn Ihre Fahrradbeleuchtung brennt. Wenn Sie das Lämpchen herausschrauben oder es durchgebrannt ist, läßt sich der Dynamo bedeutend leichter drehen, denn dann haben Sie nur die zur Überwindung der

Achsreibung des Ankers nötige Energie aufzubringen. Nun liegt der Gedanke nahe, daß man elektrische Energie in Form eines Wechselstroms in den Dynamo schicken könnte, um mechanische Energie zu entnehmen, das heißt, der Dynamo könnte als Motor arbeiten. Das geht tatsächlich. Schließen Sie einmal den Dynamo an die 8-V-Wicklung Ihres Klingeltrafos an, der ja Wechselstrom liefert. Aus Gründen, die hier zu weit führen, läuft der Dynamo nicht von selbst an, Sie müssen ihn mit etwas Geschick kräftig und vor allem sehr schnell von Hand „anwerfen". Wenn Sie ihn erst einmal auf die nötige Tourenzahl gebracht haben, läuft er von allein weiter. Am besten geht das, wenn Sie den Dynamo am Fahrrad lassen, dieses aufbocken und die Übersetzung Fahrradreifen — Dynamo zum Anwerfen ausnutzen. Sie werden feststellen, daß der Dynamo das Rad mit beachtlicher Kraft antreibt, sobald er erst einmal selbständig läuft. Wir haben hier die Urform des „Synchronmotors" vor uns, denn die Tourenzahl der Dynamos hängt eng zusammen mit der Schwingungszahl des Wechselstroms (in unserem Fall 50 Hz).

Was tun wir aber, wenn wir unseren Motor mit Gleichstrom (z. B. aus einer Batterie) betreiben wollen? Eine einfache Überlegung zeigt, daß der Dynamo nach Bild 25 sich dazu nicht eignet: Beim Anschluß der Spule an Gleichstrom dreht

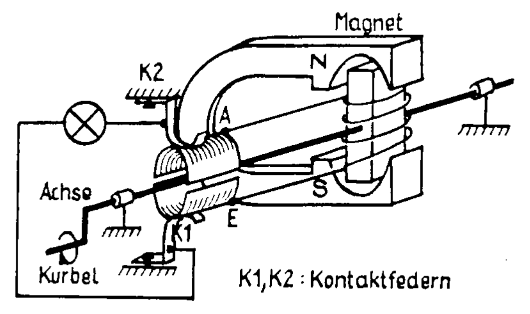


Bild 26 Auf der Achse des Dynamos ist eine Umpolvorrichtung aufgesetzt, die die Spulenanschlüsse automatisch immer dann umpolt, wenn auch die induzierte Spannung ihre Polarität wechselt: der Kollektor. An den Kontaktfedern K 1 und K 2 tritt daher immer die gleiche Polarität auf: Gleichspannung. Erklärung im Text. Diese Vorrichtung kann ebenso wie die Dynamomaschine nach Bild 25 auch als Motor arbeiten

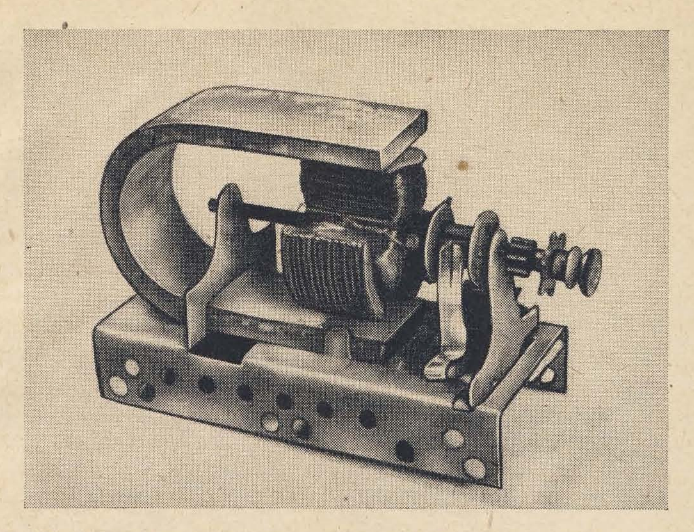


Bild M Aufbau eines Spielzeugmotors mit Permanentmagneten und 3teiligem Anker (vgl. Bild 26). Zwischen den Polen des Permanentmagneten rotieren die Ankerspulen. Rechts von ihnen auf der Achse der Kollektor mit einer der beiden Kontaktschleiffedern. Dieser Motor ist grundsätzlich auch als allerdings sehr leistungsschwacher Gleichstromdynamo verwendbar. Stärkere Motoren benutzen an Stelle des Permanentmagneten einen Elektromagneten (Feldmagnetwicklung) und sind daher nicht ohne weiteres als Dynamo zu betreiben

sich die Spule so, daß ihr Nordpol zum Südpol des Permanentmagneten zeigt, und bleibt dann stehen. Polen wir jetzt die Batterie um, so wird auch das Magnetfeld der Spule umgepolt. Der Erfolg: Die Spule dreht sich um 180° und bleibt dann wieder stehen. In dieser zunächst betrüblichen Beobachtung steckt aber bereits der Lösungsgedanke: Wir müssen erreichen, daß die Spule ihre Anschlüsse bei jeder halben Umdrehung selbständig umpolt, also gleich wieder zur nächsten Halbdrehung veranlaßt wird.

Bild 26 zeigt, wie wir das erreichen, wobei wir zur Verdeutlichung nur 1 Spule zeichnen, obwohl bei einem Gleichstrommotor meist 2, oft sogar bedeutend mehr Spulen kombiniert sind. Zunächst wollen wir die Spule mit der gezeichneten Kurbel von Hand drehen. Das Ganze wirkt dann wieder als Dynamo (Bild 25), das heißt, die Spulenanschlüsse A und E

geben eine Spannung ab, deren Richtung von der jeweiligen Spulenstellung abhängt, also eine Wechselspannung ist. Diese ändert ihre Richtung immer dann, wenn die Spule quer zu den Magnetpolen steht (vgl. auch Bild 24). Wir nehmen nun die Spannung von der Spule nicht direkt ab, sondern führen sie 2 auf der Achse befindlichen Halbzylindern zu, die sich mit der Spule drehen. 2 Schleiffederkontakte K 1 und K 2 nehmen die Spannung von den Halbzylindern („Lamellen“) ab und führen sie beispielsweise einem Lämpchen zu. In Bild 26 ist der Spulenanfang oben (A) mit Feder K 2 verbunden, das Ende E mit K 1. Es sei angenommen, daß in diesem Moment die in der Spule induzierte Spannung mit Plus am Spulenanfang A, mit Minus an E auftritt. Drehen wir nun die Spule über die Querlage hinweg, so ändert sich in diesem Moment die Polarität der induzierten Spannung; jetzt kommt also für eine halbe Umdrehung der Spule die Spannung mit Plus bei E, Minus bei A zum Vorschein. Da die Halbzylinder sich mitdrehen, ist inzwischen aber E mit K 2 verbunden, so daß auch bei dieser Halbdrehung Plus wieder an K 2 auftritt. Die beiden Halbzylinder sorgen also dafür, daß die Spulenanschlüsse jedesmal gerade dann umgepolt werden, wenn die induzierte Spannung ihre Richtung ändert. An K 1 und K 2 herrscht daher immer die gleiche Polarität: Unser Dynamo liefert Gleichstrom.
Nicht anders ist es, wenn wir diese Vorrichtung als Motor benutzen. An Stelle des Glühlämpchens in Bild 26 befindet sich nun eine Batterie, deren Pole mit K 1 und K 2 verbunden sind. Die Spule sei so gewickelt, daß (wenn z. B. der Pluspol der Batterie an K 2 liegt) in der gezeichneten Stellung am oberen Spulenende der Nordpol auftritt. Da gleichnamige Magnetpole sich abstoßen, werden Nord- und Südpol der Spule von den gleichnamigen Magnetpolen abgestoßen; die Spule dreht sich also bis in die Querlage und durch den eigenen Schwung noch etwas weiter. In diesem Moment polen die Halbzylinder die Stromrichtung in der Spule um, so daß der von unten kommende ursprüngliche Südpol der Spule, sobald er oben ankommt, wieder ein Nordpol ist und damit auch wieder abgestoßen wird. Die Spule macht also die nächste Halbdrehung, wird dabei wieder umgepolt... unser Motor läuft.

Die Kontaktfedern K 1 und K 2 nennt man „Bürsten“, sie bestehen bei größeren Motoren meist aus Graphitkohle. Die ganze „Umpolvorrichtung“ heißt Kollektor. Die Ankerwicklung hat bei größeren Motoren meist ein Dutzend oder mehr sternförmig angeordnete Wicklungen, um einen ruhigeren Lauf zu erreichen, der Kollektor entsprechend viele Lamellen, über die immer die jeweils wirksamste Wicklung des Ankers eingeschaltet wird. Außerdem geht man, um die schweren und teuren Permanentmagneten zu sparen, bei größeren Motoren noch einen Schritt weiter. Man ersetzt sie durch Elektromagneten, die fest mit der Stromquelle verbunden sind, also nicht umgepolt werden. (Wir stellen uns vor, daß der Magnet in Bild 26 ein Weicheisenkern ist, der eine Wicklung trägt. Diese ist fest mit den an K 1 und K 2 ohnehin vorhandenen Batteriepolen verbunden.) Auch hier kann man wieder mehrere Magnetwicklungen (genannt „Feldwicklungen“) sternförmig um den Anker anordnen.
Einfache Experimente zum Thema Elektromotor sind für uns schwer durchführbar. Wir beschränken uns daher darauf, einen kleinen Spielzeugmotor (z. B. für Modelleisenbahnen) zu untersuchen. Haben wir uns erst einmal mit dessen Aufbau vertraut gemacht, so finden wir sicherlich auch Gelegenheit, einmal eine Elektrowerkstatt zu besuchen und dort einen zerlegten Elektromotor anzusehen. Wir werden dann unschwer die – in der Praxis bei größeren Motoren sehr komplizierte – Ankerwicklung, die Feldwicklung und den Kollektor mit seinen Lamellen und den dazugehörigen Kontaktbürsten wiedererkennen.

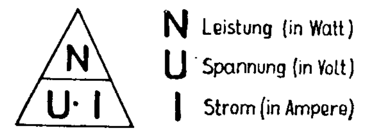
E Elektrische Leistung und elektrische Arbeit

1. Leistung

Wir haben zu Beginn dieses Büchleins erkannt, daß ein Leiter sich erwärmt, wenn er vom Strom durchflossen wird. Es leuchtet ein, daß für diese Erwärmung eine bestimmte elektrische Leistung erforderlich ist. Offenbar hängt die Größe dieser Leistung eng mit der Stromstärke und der Spannung zusammen. Wandeln wir doch einmal das Experiment nach Bild 1 mehrfach ab, indem wir dazu Batterien verschiedener Spannung, aber immer wieder den gleichen Glühdraht benutzen. Dieser Draht stellt einen bestimmten Widerstand dar. Erhöhen wir die Spannung, so erhöht sich nach dem Ohmschen Gesetz (siehe dort) auch der durchfließende Strom. Wir beobachten, daß der Draht dann schneller zum Glühen kommt und auch heißer wird. Höherer Strom ergibt also offenbar größere Leistung (wobei es gleichgültig ist, ob diese Leistung wie hier als Wärmeleistung oder z. B. beim „galvanischen Bad“ als chemische Leistung, beim Motor wieder als mechanische Leistung usw. frei wird). — In einem weiteren Versuch benutzen wir einen Glühdraht vom gleichen Material, aber der doppelten Länge (und damit dem doppelten Widerstand) wie zuvor. Gleichzeitig nehmen wir die doppelte Spannung, indem wir 2 Batterien in Reihe schalten. Nach dem Ohmschen Gesetz fließt dann der gleiche Strom wie zuvor, jedoch arbeiten wir mit der doppelten Spannung. Wir stellen fest, daß der Draht auf die gleiche Temperatur kommt wie bei halber Länge und mit nur einer Batterie, was angesichts des gleichen Stromes auch nicht anders zu erwarten war. Unser Draht ist aber doppelt so lang, er gibt demzufolge die doppelte Wärme ab als im vorhergehenden Versuch, obwohl der Strom gleichgeblieben ist. Wir sehen daraus, daß die Leistung auch von der Spannung abhängt. Die elektrische Leistung wird mit dem Formelzeichen N gekennzeichnet und in Watt (W) gemessen (1000 W = 1 kW, Kilowatt); dieser Ausdruck ist uns von elektrischen Haushaltgeräten und Glühlampen her geläufig. Zwischen Span-

nung, Stromstärke und Leistung besteht eine dem Ohmschen Gesetz äußerlich ähnliche Beziehung: $N = U \cdot I$. Durch Umstellung dieser Formel können wir auch hier wieder eine unbekannte Größe berechnen, wenn die anderen beiden bekannt sind: $U = \frac{N}{I}$ oder $I = \frac{N}{U}$. Es gibt dafür ein ähnliches Merk-Dreieck, wie wir es beim Ohmschen Gesetz kennenlernten (Bild 27). Wieder erhalten wir die jeweilige Formel, indem wir die gesuchte Größe mit dem Finger zudecken.

Bild 27
Merk-Dreieck zur Ableitung der Formeln für das Leistungsgesetz. Die gesuchte Größe wird mit dem Finger abgedeckt



Ein Beispiel zeigt die Anwendung: Ein Plätteisen hat laut Typenschild 450 W Leistungsaufnahme, es ist für eine Netzspannung von 220 V bestimmt. Welche Stromstärke nimmt es auf? Wir rechnen: $I = \frac{N}{U} = \frac{450}{220}$ = rund 2 Ampere. Ein anderes Beispiel: Ein Lämpchen ist laut Aufdruck für 2,5 V/0,2 A bestimmt. Welche Leistung nimmt es auf? Wir rechnen: $N = U \cdot I = 2{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}5$ Watt.
Wir sprachen früher bereits von Widerständen und ihrer praktischen Ausführung als Draht- und Kohleschichtwiderstände. Sie werden unter anderem benutzt, um Spannungen herabzusetzen. Wir wollen nun einmal einen praktisch denkbaren Fall durchrechnen. Keine Angst, die Rechnung ist ganz einfach. Nehmen wir an, wir haben ein Lämpchen für 2,5 V und 0,2 A und dazu nur eine 4,5-V-Taschenlampenbatterie. Schließen wir das Lämpchen direkt an sie an, so riskieren wir, daß es überlastet wird und durchbrennt. Wir reduzieren also die Batteriespannung um 2 V ($4{,}5 - 2 = 2{,}5$ V), indem wir in Reihe mit dem Lämpchen einen Widerstand schalten. Die Schaltung sieht dann etwa so aus wie Bild 9, wobei wir uns an die Stelle eines der Lämpchen in diesem Bild den vorzuschaltenden Widerstand denken. Selbstverständlich können wir diesen Versuch praktisch ausführen, sobald wir wissen, wie groß der Widerstand sein muß. Wir errechnen

das nach dem Ohmschen Gesetz (Bild 15), wobei wir davon ausgehen, daß der Widerstand bei einem Strom von 0,2 A gerade die „überschüssigen“ 2 V „vernichten“, das heißt in Wärme umsetzen soll. Gegeben sind U mit 2 V, I mit 0,2 A. Nach Bild 15 rechnen wir: $R = \frac{2}{0,2} = 10\ \Omega$. Der Vorschaltwiderstand muß also für dieses Lämpchen und die gegebene Batteriespannung 10 Ω betragen, um das Lämpchen normal brennen zu lassen. Damit ist der Widerstand aber noch nicht eindeutig bestimmt. Er hat ja die überschüssige Spannung in Wärme umzusetzen, erwärmt sich also. Er muß je nach der frei werdenden Wärmemenge eine bestimmte Oberfläche haben, um diese Wärme abgeben zu können, andernfalls wird er zu heiß und verbrennt. Handelsübliche Widerstände werden deshalb auch mit 2 Kenndaten gekennzeichnet: mit dem Widerstandswert in Ohm und der höchstzulässigen Belastbarkeit in Watt. Für wieviel Watt Belastbarkeit muß nun unser Widerstand ausgelegt sein? Nach Bild 27 rechnen wir: $N = U \cdot I$. Für U setzen wir die am Widerstand auftretende Spannung ein, also 2 V, für I den durch den Widerstand fließenden Strom, 0,2 A. Die Belastbarkeit ergibt sich damit zu $2 \cdot 0,2 = 0,4$ W. Handelsüblich sind Widerstände für 0,05 W, 0,1 W, 0,25 W (sie wären hier zu schwach und würden verkohlen), 0,5 W, 1 W, 2 W usw. bis zu vielen 100 W. Wir wählen eine Ausführung für 0,5 W oder mehr, denn wenn die zulässige Belastungsgrenze höher liegt als die tatsächlich auftretende Belastung, so ist das nur günstig, der Widerstand wird dann weniger erwärmt.

Wie gehen wir vor, wenn wir lediglich den Widerstandswert in Ohm und den durchfließenden Strom kennen, aber nicht die am Widerstand auftretende Spannung, und die Belastung errechnen sollen? Dann bestimmen wir zunächst aus I und R nach dem Ohmschen Gesetz die am Widerstand „abfallende“ Spannung U; aus dieser und dem Strom ist es möglich, nach Bild 27 die Leistung zu errechnen, mit der der Widerstand belastet wird.

Wir setzen jetzt einen unserer früher gekauften 10-Ω-Widerstände ein und prüfen die Richtigkeit der Rechnung praktisch nach. Auch die Leistungsberechnung läßt sich nachweisen: Wir schalten dem Lämpchen einen kleinen Kohleschicht-

widerstand (Radio-Kleinwiderstand, er kostet nur wenige Pfennige) von 10 Ω vor, der aber nur für eine – nach unserer Rechnung zu geringe – Belastung von 0,05 W oder 0,1 W zugelassen ist. Da der Ohmwert stimmt, brennt unser Lämpchen trotzdem normal, der Widerstand wird aber sehr heiß und verkohlt nach einiger Zeit. Am Nachlassen und schließlich am Erlöschen des Lämpchens zeigt sich die Zerstörung des Widerstands.

2. Arbeit

2.1. Was ist nun elektrische Arbeit?

Auf diese Frage können wir im Rahmen unserer Broschüre nur kurz eingehen. „Arbeit ist die Leistung in der Zeiteinheit", besagt die physikalische Definition. Tatsächlich nützt die elektrische Leistung allein nichts, wenn sie nicht eine gewisse Zeitlang wirksam wird. Wir bezahlen unserem Elektrizitätswerk auch nicht die verbrauchten Watt oder Kilowatt, sondern die Kilowatt**stunden**, und das ist ein wesentlicher Unterschied. Die Arbeit (in Wattsekunden oder umgerechnet in Wattstunden oder Kilowattstunden, abgekürzt Ws, Wh oder kWh) errechnet sich also aus Leistung · Zeit. Wenn eine Glühbirne mit einer Leistungsaufnahme von 100 W (= 0,1 kW) 10 Stunden lang brennt, dann hat sie eine elektrische Arbeit von 10 h · 0,1 kW = 1 kWh umgesetzt. Die gleiche Arbeit oder Energiemenge (wirkungsmäßig besteht kein Unterschied) von 1 kWh gibt ein elektrischer Tauchsieder ab, der eine Leistung von 1000 W (= 1 kW) hat und 1 Stunde in Betrieb ist. Die von beiden Geräten abgegebene Wärmemenge – die der Energiemenge oder Arbeit entspricht – ist dabei die gleiche. Das heißt, theoretisch könnten wir beispielsweise die Wassermenge eines Waschkessels mit dem Tauchsieder in 1 Stunde gerade zum Kochen bringen; mit einer 100-W-Glühbirne geheizt, würde der Kesselinhalt dann nach 10 Stunden kochen. Leider läßt sich das nicht ohne weiteres praktisch durchführen, denn der Waschkessel gibt seine Wärme zum Teil wieder an die Umgebung ab. Dadurch würde uns dieser Versuch ein Fehlergebnis bringen. Mit etwas

Geduld können wir das Experiment aber doch mit ungefährem Ergebnis im kleinen durchführen. Wir brauchen dazu eine Thermosflasche und ein genau ablesbares Thermometer (Foto-Entwicklerthermometer). Wir verwenden einen Widerstand von 10 Ω mit einer Belastbarkeit von etwa 3 W, außerdem brauchen wir 6 Stück 2-V-Trockenakkus, die völlig frisch sein müssen. An dem Widerstand befestigen wir (möglichst anlöten!) 2 Zuleitungsdrähte, die bis zur Anschlußstelle isoliert sind. Das Ganze wird dick mit Duosan oder Nagellack bestrichen, um eine vollständige Isolierung zu erreichen. Nun füllen wir in die Thermosflasche etwas Wasser, dessen Menge uns genau bekannt sein muß (mit Maßzylinder abmessen). In das Wasser versenken wir den Widerstand – es soll soviel Wasser vorhanden sein, daß es den Widerstand gerade völlig bedeckt –, warten eine Viertelstunde und messen nun die Wassertemperatur in der Flasche. Sie wird ebenso wie die Wassermenge notiert. Jetzt verschließen wir die Flasche mit einem Korkstopfen – die Zuleitungen führen wir durch kleine Bohrungen im Kork – und schalten 3 der Batterien in Serie, so daß wir 6 V erhalten. An diese 6 V schließen wir den Widerstand genau 4 Minuten lang an. Der Widerstand erwärmt sich – die Leistung können wir uns nach dem vorn genannten Rechnungsgang selbst errechnen – und gibt daher in den 4 Minuten eine bestimmte, der geleisteten elektrischen Arbeit entsprechende Wärmemenge an das Wasser ab. Das Wasser erwärmt sich also um einen bestimmten Betrag. Wir warten nach dem Abschalten noch einige Minuten ab, öffnen dann die Flasche, messen die Temperatur und stellen fest, um wieviel Grad sich das Wasser erwärmt hat. Diesen Wert notieren wir. – Danach beginnen wir von vorn. Es wird genau die gleiche Wassermenge wie beim erstenmal eingefüllt, der Widerstand eingehängt und wieder eine Viertelstunde gewartet. Dann messen wir die Temperatur des Wassers – sie soll möglichst genau die gleiche Höhe haben wie zu Beginn des ersten Versuchs –, notieren diesen Wert wieder, schließen die Flasche, aber schalten diesmal alle 6 Batterien in Serie, so daß wir die doppelte Spannung (12 V) erhalten. An diese Spannung schließen wir jetzt den Widerstand an.

Die doppelte Spannung bewirkt nach dem Ohmschen Gesetz

den doppelten Stromfluß. Daraus errechnet sich nach Bild 27 aber die 4fache Leistung. Wenn wir den Widerstand mit der 4fachen Leistung jetzt nur ¼ der Zeit, also genau 1 Minute, eingeschaltet lassen, muß er demzufolge genau die gleiche elektrische Arbeit in Wärme umsetzen wie beim ersten Versuch. Wir schalten also nach genau 1 Minute ab, warten mehrere Minuten, damit sich der Temperaturausgleich zwischen Widerstand und Wasser vollziehen kann, und messen dann wieder die Temperaturerhöhung. Haben wir sorgfältig gearbeitet, so ist sie ebenso groß wie beim ersten Versuch. – Wer dieses Beispiel genau nachrechnet, der stellt fest, daß der empfohlene 3-W-Widerstand rechnerisch beim zweiten Versuch eigentlich überlastet wird. Das ist für die genannte Versuchsdauer vertretbar, da der Widerstand vom Wasser gekühlt wird und wir einen größeren Widerstand nicht in die Thermosflasche hineinbekommen.

Der Nachweis der elektrischen Arbeit ist außerdem möglich, indem wir die chemische Wirkung des Stromes bei der Elektrolyse ausnutzen. Wir bauen eine Anordnung nach Bild 28 auf. In ein großes, wassergefülltes Glasgefäß (Glasschüssel o. ä.) setzen wir ein völlig wassergefülltes kleineres Glas verkehrt ein, wie Bild 28 zeigt (kleines Glas untertauchen und, wenn die Luft entwichen ist, mit der Öffnung nach unten halb herausheben!). 2 Elektroden (Kupfer oder Messing, noch geeigneter: Kohlestifte von alten Batterien!) wer-

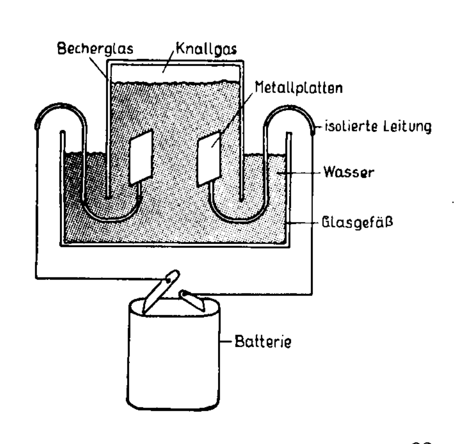


Bild 28
Versuchsanordnung zum Nachweis der Zusammenhänge zwischen elektrischer Leistung und Arbeit. Erklärung im Text

den unter das wassergefüllte Glas gebracht, die Zuleitungen bis zu den Elektroden sollen isoliert sein. Dem Wasser wird etwas Kochsalz zugesetzt. Beim Anschluß an eine Batterie kommt es zur Zersetzung des Wassers, wie wir bereits bei Bild 8 sahen. Wir fangen hier beide Gase — Wasserstoff und Sauerstoff — gemeinsam auf. (Ihr Gemisch ist explosiv und heißt Knallgas. Wir können es ungefährlich nach Beendigung des Versuches verpuffen lassen, wenn wir das Glas herausheben und sofort nach Auslaufen des Wassers ein brennendes Streichholz an die Glasöffnung bringen.) Die Menge des gesammelten Gases ist ein direktes Maß für die geleistete elektrische Arbeit. Wir können jetzt also mit verschiedenen Spannungen und Zeiten experimentieren und werden — obwohl der Versuch physikalisch nicht ganz exakt ist, was uns hier aber nicht stören soll, da es uns nur auf den Nachweis der prinzipiellen Einwirkung der Zeit auf die elektrische Arbeit ankommt — ähnliche Zusammenhänge feststellen wie im ersten Beispiel. — Die Tatsache, daß sich die Zählerscheibe unseres Energiezählers um so schneller dreht, je mehr Stromverbraucher wir einschalten, ist allgemein bekannt und gehört ebenfalls in dieses Kapitel.

F Chemische Stromquellen

Bei den chemischen Stromquellen unterscheiden wir zwischen Primärelementen (sie erzeugen unmittelbar auf Grund chemischer Reaktionen eine Spannung, nach Erschöpfung der Chemikalien sind sie unbrauchbar) und Sekundärelementen. Diese sind Speicher; ihnen wird also zunächst eine elektrische Energie zugeführt, die man in Form chemischer Vorgänge im Element speichert. Durch rückläufigen Verlauf dieser chemischen Reaktion wird die elektrische Energie wieder frei. Auf die näheren elektrochemischen Zusammenhänge können wir hier nicht eingehen.

1. Primärelemente

1.1. Nachweis der elektrochemischen Spannung

Wir wählen wieder einen Aufbau nach Bild 8, füllen das Gefäß aber diesmal mit einer Lösung von Salmiaksalz (in Apotheken und Drogerien zu erhalten) in Wasser. Die beiden Elektroden werden jeweils aus 2 verschiedenen Materialien angefertigt. Wir benutzen die Elektrodenpaare Kupfer und Zink, danach Kupfer und Eisen, Kohle (Kohlestab aus alter Batterie) und Kupfer, Kohle und Eisen, Kohle und Zink. Für die Metallelektroden nehmen wir Blechstreifen geeigneter Größe mit sauberer Oberfläche. Zwischen beide Elektroden schalten wir dann unser Kompaß-Galvanometer.
Es zeigt sich, daß zwischen den beiden Elektroden eine elektrische Spannung entsteht, die einen Ausschlag am Galvanometer bewirkt. Je nach den verwendeten Elektroden ist der Ausschlag – demnach auch die erzielte Spannung – verschieden groß. Sie zeigt sich am geringsten bei der Elektrodenkombination Kohle/Kupfer, größer bei Kupfer/Eisen, noch größer bei Kupfer/Zink, Kohle/Eisen und am größten bei der Kombination Kohle/Zink. Der Pluspol tritt, wie wir durch Vergleich der Ausschlagsrichtung (Kompaßnadel) mit

einer Batterie bekannter Polarität feststellen können, dabei stets an der Kohle auf, bei den Metall/Metall-Kombinationen jeweils beim edleren der beiden Metalle, dem Kupfer. Tatsächlich folgen alle Metalle der „elektrolytischen Spannungsreihe der Metalle“, die uns hier aber nicht näher interessieren kann. Die erzielbare Spannung ergibt sich aus dieser Spannungsreihe und liegt bei der Kombination Kohle/Kupfer bei wenigen Zehntel Volt, bei der Kombination Kohle/Zink bei rund 1,5 Volt. An Stelle der Salmiaklösung könnten wir ohne großen Unterschied auch verdünnte Schwefelsäure oder andere Säuren verwenden.

Wir machen uns diese Erscheinung zunutze und bauen ein chemisches Element nach Bild 29 auf. In einen möglichst großflächigen Zinkblechzylinder stellen wir einen Kohlestab, der das Zink nicht berühren darf. Das Becherglas wird mit der Salmiaklösung gefüllt. Diesem chemischen Element können wir bereits einen Strom entnehmen, der zum Betrieb eines kleinen Glühlämpchens für 1,5 oder 2 V ausreicht. Hierbei machen wir eine neue Beobachtung: Schon nach kurzer Zeit brennt das Lämpchen nicht mehr so hell, gleichzeitig setzen sich am Kohlestift feine Bläschen ab. Es handelt sich dabei um Wasserstoffgas, das durch Zersetzung des Wassers (hervorgerufen durch den Stromdurchgang) entsteht. Tatsächlich bilden sich die Bläschen nur dann, wenn wir dem Element Strom entnehmen. Sie decken einen immer größeren Teil der Kohlestiftoberfläche von der Flüssigkeit ab, isolieren sie gewissermaßen, so daß dem Strom der Durchgang zur Kohle mehr und mehr erschwert wird. Streichen wir die Bläschen mit einem Pinsel ab, dann brennt das Lämpchen sofort wieder hell wie zu Beginn. Diese unerwünschte Nebenerscheinung heißt Polarisation. Man vermeidet sie, indem

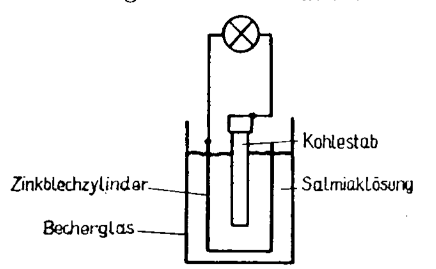


Bild 29
Versuchsaufbau eines praktisch brauchbaren chemischen Elements. Es liefert eine Spannung von rund 1,5 Volt. Erklärung im Text

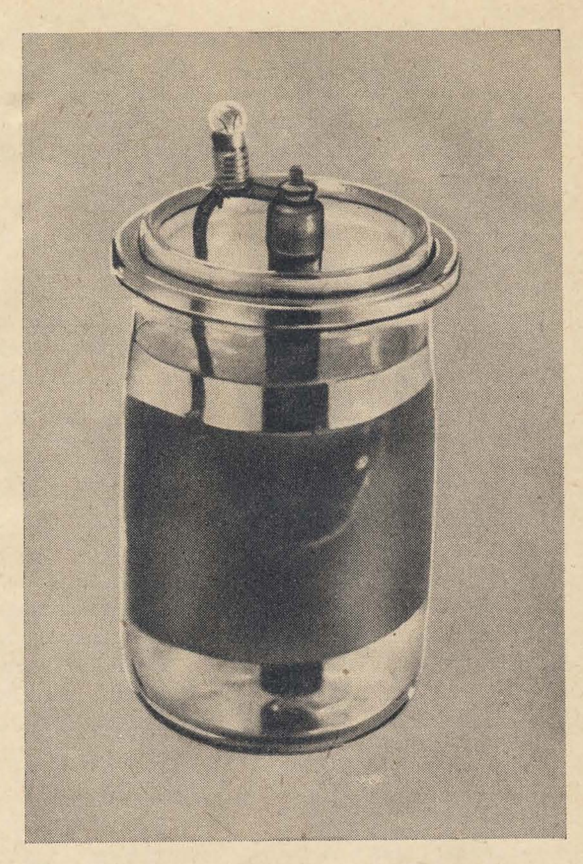


Bild N Versuchsaufbau eines galvanischen Elements mit Zinkelektrode (Zinkblechzylinder) und Kohlestabelektrode nach Bild 29. Das Glasgefäß ist mit Salmiaklösung gefüllt. Da der Depolarisator bei der Kohleelektrode fehlt (vgl. Textabschnitt F-1), liefert dieses Versuchselement nur kurze Zeit einen zum Betrieb der Glühlampe ausreichenden Strom

man den Kohlestab mit einer Chemikalie umgibt, die auf die Elementfunktion keinen Einfluß hat, aber den Wasserstoff chemisch bindet (oxydiert). Diese Chemikalie wird „Depolarisator“ genannt, meist verwendet man dafür Braunstein.

1.2. Ein Kohle-Zink-Element enthält neben den Elektroden und der Salmiaklösung — dem „Elektrolyten" — noch den Depolarisator. Wenn der Elektrolyt eingedickt und das Element wasserdicht verschlossen wird, erhalten wir das sogenannte „Trockenelement", das also im Innern keineswegs trocken ist

Alle üblichen Trockenelemente (Taschenlampenbatterien, Monozellen usw.) sind nach diesem Kohle-Zink-Prinzip aufgebaut. Wir öffnen, um diesen Aufbau kennenzulernen, ein altes, verbrauchtes Trockenelement, zum Beispiel eine 1,5-V-Monozelle. Bild 30a zeigt schematisch ihren Aufbau. Der Zinkbecher bildet den Minuspol und gleichzeitig das Gehäuse. Der Kohlestift (= Pluspol, oben mit einer Kontaktkappe aus Messing versehen) ist mit Braunstein, dem Depolarisator, umgeben, der durch ein Gazebeutelchen zusammengehalten wird. Beide sind von der Elektrolytflüssigkeit — Salmiaklösung, die mit Gelatine, Weizenmehl oder ähnlichem zu einem Brei verdickt ist — durchfeuchtet.
Ein Kohle-Zink-Element gibt stets etwa 1,5 V ab. Batterien (mit höherer Spannung) werden durch Reihenschaltung mehrerer Einzelzellen aufgebaut, ihre Spannung beträgt deshalb immer ein Vielfaches von 1,5 V. Bild 30b zeigt schematisch den Aufbau einer 4,5-V-Taschenlampenbatterie und läßt die Reihenschaltung der 3 Zellen erkennen. Die Isolierpappe

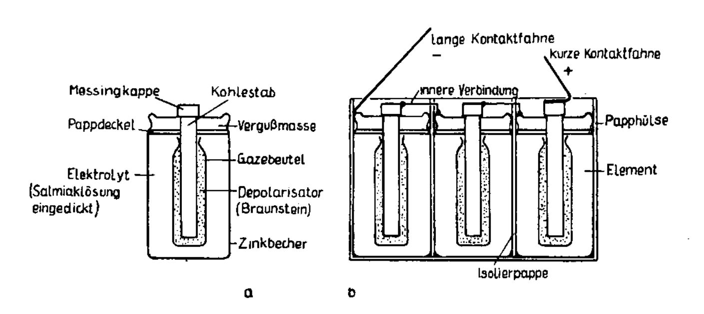


Bild 30 Aufbau industriell gefertigter Primärelemente; a) technische Monozelle (Zink-Kohle-Element); b) in einer Taschenlampenbatterie sind 3 derartige Elemente in Serie geschaltet, so daß die 3fache Spannung eines Einzelelements verfügbar wird

zwischen den Zellen verhindert den Kurzschluß einzelner Elemente: Berührten sich etwa die Zinkbecher des mittleren und des rechten Elements, so wäre das mittlere Element kurzgeschlossen und könnte sich sehr schnell entladen. Die Entladung ist bei diesen Elementen beendet, wenn entweder das Zink vollständig zersetzt oder der Elektrolyt oder aber der Depolarisator erschöpft ist.
Da der Strom auch im Innern des Elements einen Widerstand vorfindet (ebenso wie bei unseren „galvanischen Bädern"), kann das Element nicht beliebig starken Strom liefern, beziehungsweise seine Spannungsabgabe hängt von der Stromentnahme ab.
Wir können uns das so vorstellen, als sei der „innere Widerstand" des Elements außen mit dem Element — das wir uns in diesem Fall als ideales Element ohne Widerstand vorstellen — in Serie geschaltet. Jedem Stromverbraucher, den wir anschließen, ist also dieser „innere Widerstand" des Elements vorgeschaltet, und nach dem Ohmschen Gesetz läßt sich leicht zeigen, daß an diesem Widerstand um so mehr Spannung verlorengeht, je mehr Strom das Element liefern muß. Mit steigender Stromentnahme sinkt daher die Spannung des Elements; sie beträgt 1,5 V nur dann, wenn kein oder ein ganz minimaler Strom entnommen wird. Hier liegt auch der Grund dafür, weshalb Taschenlampenbirnen immer für etwas niedrigere Spannung ausgelegt sind als die Batterie-Nennspannung. Der Innenwiderstand des Elements steigt mit zunehmender Alterung oder Erschöpfung des Elements, deshalb sinkt seine Spannung im Betrieb. Bei ganz minimaler Stromentnahme kann daher auch ein altes, in der Taschenlampe kaum noch funktionsfähiges Element nahezu die volle Spannung von 1,5 V aufweisen. Bereits bei geringer Stromentnahme geht sie dann jedoch stark zurück.
Man ist daher bestrebt, den Innenwiderstand der Elemente möglichst niedrig zu halten. Das erreicht man einmal durch eine großflächige Ausbildung der Elektroden (große Zinkoberfläche, dicker Kohlestab); auf diese Weise kann eine Monozelle zu 1,5 V einen stärkeren Strom liefern als die kleinere Einzelzelle aus einer 3-V-Taschenlampenbatterie. Falls wir für bestimmte Versuche einmal besonders hohe Stromstärken brauchen, können wir dann mehrere Zellen

parallelschalten, das heißt, es werden alle Pluspole und alle Minuspole miteinander verbunden. Das Ganze wirkt dann wie ein einziges Element mit entsprechend vergrößerten Elektroden; die Spannung entspricht der eines einzigen Elements, das aber bei 3 parallelgeschalteten Zellen nur $^1/_3$ des Innenwiderstands der Einzelzelle hat (auch die Innenwiderstände werden ja dabei parallelgeschaltet, es gilt also das früher zur Parallelschaltung von Widerständen Gesagte!). Es ist jetzt ein entsprechend stärkerer Strom entnehmbar, ohne daß die Spannung allzuweit absinkt. Wir merken uns:

Bei der Serienschaltung von Elementen addieren sich deren Spannungen. Ebenso addieren sich die Innenwiderstände; der maximal entnehmbare Strom entspricht daher dem eines einzelnen Elements. Bei der Parallelschaltung von Elementen verringert sich der Innenwiderstand der Elementkombination, daher ist jetzt ein höherer Strom entnehmbar. Die Spannung entspricht der eines Einzelelements.

Natürlich gelten diese Regeln auch für die Zusammenschaltung von Batterien; bei der Parallelschaltung ist natürlich vorauszusetzen, daß alle parallelzuschaltenden Batterien die gleiche Spannung haben.
Eine Unterscheidung wollen wir hier noch treffen, die wir bisher aus Gründen der Übersichtlichkeit absichtlich unterließen: Eine Batterie ist eine Kombination mehrerer Elemente in Serien- oder Parallelschaltung (auch Kombination beider Schaltungsarten ist möglich, etwa nach Bild 13, wobei wir uns an Stelle der 4 Lämpchen 4 Batterien denken könnten), ein Element dagegen immer eine einzelne Zelle. Eine Taschenlampenbatterie zu 4,5 V ist also eine Serienschaltung von 3 Elementen. Schalten wir 2 derartige Batterien in Serie, so liegt eine Serienschaltung von 6 Elementen vor.

2. Sekundärelemente (Akkumulatoren)

Wie einleitend in diesem Abschnitt gesagt, sind Sekundärelemente oder Akkumulatoren (kurz „Akkus“ genannt) elektrochemische Speicher. Sie geben zunächst keine eigene Spannung ab. Durch Zuführen einer äußeren Spannung kommt es

zu chemischen Veränderungen an den Elektroden, die dann eine elektrische Spannung zwischen diesen bewirken. Werden die Elektroden nach diesem „Ladung“ genannten Vorgang außerhalb des Elements verbunden, so fließt daher ein Strom, und die chemischen Vorgänge an den Elektroden laufen rückläufig ab.
Wir wählen wieder den Aufbau nach Bild 8. Als Elektroden benutzen wir 2 gleiche Bleiblechstreifen mit möglichst großer Fläche, das Gefäß wird mit verdünnter Schwefelsäure (20prozentig als „Akkusäure“ erhältlich) gefüllt. Vorsicht, die Säure hat stark ätzende Wirkung auf Textilien, Holz, Papier, Metalle und die menschliche Haut! Etwa entstandene Flecken mit reichlich Wasser auswaschen und anschließend mit Salmiakgeist nachspülen! Säure unter Verschluß halten!
Zwischen den Bleielektroden ist zunächst keine Spannung nachzuweisen (Kompaß-Galvanometer anschließen!). Wir verbinden jetzt die beiden Elektroden mit einer 4,5-V-Taschenlampenbatterie unter Zwischenschaltung eines Lämpchens für höchstens 1,5 bis 2 V. Es werden also Batterie, Lämpchen und Bleielektroden in Serie geschaltet. Das schwach aufleuchtende Lämpchen zeigt einen Stromfluß an. Nach einiger Zeit bemerken wir, daß die mit Plus der Batterie verbundene Bleielektrode sich bräunlich zu färben beginnt. Wenn unser Lämpchen fast aufgehört hat zu leuchten, schalten wir die Batterie ab. Ihre Energie ist zum großen Teil in unseren Versuchs-„Akkumulator“ übergegangen. Zwischen seinen beiden Bleielektroden können wir jetzt eine Spannung nachweisen, die ziemlich genau 2 V beträgt und bequem zum Betrieb des Lämpchens ausreicht, das – wenn wir es jetzt unmittelbar an die Bleielektroden anschließen – hell aufleuchtet. Nachdem es einige Zeit gebrannt hat, läßt seine Leuchtkraft wieder nach. Der Akku kann dann wie zuvor mit einer Batterie wieder neu aufgeladen werden. Wichtig ist dabei stets, daß der Pluspol der Ladebatterie – deren Spannung immer ein wenig höher sein muß als die des zu ladenden Akkus – mit dem Pluspol (dunkle Platte) unseres Akkus verbunden wird. Die Stromrichtung im Akku ist also bei der Ladung gerade umgekehrt als bei der Entladung. Diesen Versuch können wir mehrmals wiederholen. Da die Bleioberfläche unseres Akkus nicht sehr groß ist, kann er

nicht allzuviel Energie speichern. Industriell gefertigte Akkus sind daher mit speziell präparierten Bleiplatten versehen, die sehr poröse Struktur und damit eine große Oberfläche und entsprechendes Speichervermögen haben. Aus dem gleichen Grunde werden je Elektrode mehrere miteinander verbundene Platten vorgesehen, die ineinanderstehend angeordnet sind, wie Bild 31 schematisch zeigt.

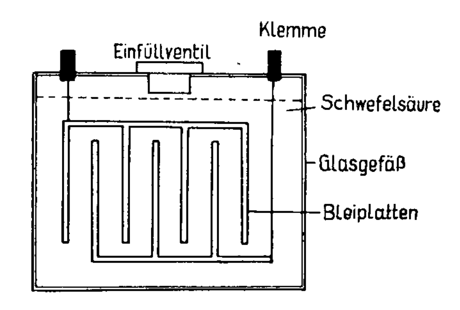


Bild 31
Prinzipieller Aufbau eines Bleiakkumulators. Erklärung im Text

Vorteilhaft beim Bleiakku ist sein geringer Innenwiderstand; einem Akku kann daher bedeutend stärkerer Strom entnommen werden als einem chemischen Element, insbesondere einem Trockenelement, ohne daß die Spannung dabei wesentlich zurückgeht.

Man baut nach dem gleichen Prinzip kleine, gasdicht verschlossene Akkus auf („Trockenakkus", z. B. die preiswerten kleinen 2-V-Akkuzellen vom VEB ETS Sörnewitz), trägt allerdings dann durch besondere Zusätze dafür Sorge, daß der bei der Ladung durch die Zersetzung des Wassers wieder entstehende Wasserstoff gebunden wird, da er sonst das dichte Gehäuse aufblähen und sprengen würde. Hiervon abgesehen, arbeiten diese Trockenakkus ebenso wie unser Versuchsakku. Wir können daher in einem weiteren Versuch einen solchen gekauften Trockenakku zunächst über ein Lämpchen entladen, bis er fast leer ist, und ihn danach in der beschriebenen Weise ebenso wie unseren Versuchsakku wieder aufladen (Plus der Ladebatterie mit Plus des Trockenakkus verbinden!), ihn erneut entladen und so fort.

Es gibt noch andere Akkumulatorkombinationen, wie zum Beispiel den Nickel-Eisen-Akkumulator (der Name weist auf die Elektrodenmetalle hin), der Kalilauge als Elektrolyt benutzt, den Silber-Zink-Akku und andere, die aber für unsere Zwecke uninteressant sind. Wissenswert ist dagegen, daß sich beim Bleiakku während der Ladung und Entladung die Säuredichte (das spezifische Gewicht der Säure) ändert. Mit speziellen „Aräometern“ kann man diese Dichte messen und daran den Grad der Ladung und Entladung jederzeit erkennen.

G Empfehlenswerte Literatur

Sie, lieber Leser, haben diese Broschüre nun studiert, haben vielleicht auch den einen und den anderen Versuch selbst ausprobiert. Sicher wollen Sie jetzt nähere Einzelheiten über dieses und jenes Problem erfahren, das wir hier aus Platzgründen nur am Rande erwähnen konnten. Vielleicht möchten Sie sich sogar an größere Experimente wagen oder selbst ein komplettes kleines radiotechnisches oder elektronisches Gerät aufbauen. Mehr als den Anreiz dazu geben und Ihnen die wichtigsten ersten Grundkenntnisse vermitteln, konnte nicht Aufgabe dieses Büchleins sein. Dies ist vielmehr die Sache anderer für Amateure und Bastler bestimmter Veröffentlichungen, von denen wir Ihnen im folgenden eine kleine Auswahl nennen, die sich zum tieferen Eindringen in diese Technik eignen.

An erster Stelle wäre zu nennen die im Verlag Sport und Technik beziehungsweise im Deutschen Militärverlag erschienene und laufend fortgesetzte Broschürenreihe „Der praktische Funkamateur". Aus dieser Reihe empfehlen wir Ihnen besonders die Bände

Nr. 1: Andrae, Der Weg zur Kurzwelle

Nr. 8: Schubert, Praktisches Radiobasteln, Teil I

Nr. 9: Schubert, Praktisches Radiobasteln, Teil II

Nr. 10: Morgenroth, Vom Schaltzeichen zum Empfängerschaltbild

Nr. 16: Schubert, Praktisches Radiobasteln, Teil III

Nr. 17: Fischer/Blos, Transistortaschenempfänger selbstgebaut

Nr. 20: Jakubaschk, Transistorschaltungen, Teil I

Nr. 21: Kronjäger, Formelsammlung für den Funkamateur, Teil I

Nr. 23: Morgenroth, Funktechnische Bauelemente, Teil I

Nr. 28: Jakubaschk, Elektronikschaltungen für Amateure

Nr. 35: Jakubaschk, Transistorschaltungen, Teil II

Nr. 36: Schubert, Elektrotechnische Grundlagen,
Teil I: Gleichstromtechnik

Nr. 37: Morgenroth, Funktechnische Bauelemente, Teil II

Weiterhin sind folgende Bücher zu empfehlen:

Schubert, Das große Radiobastelbuch, Deutscher Militärverlag

Fischer, Transistortechnik für den Funkamateur, gleicher Verlag

Conrad, Einführung in die Funktechnik, Fachbuchverlag Leipzig

Autorenkollektiv, Spannung, Widerstand, Strom, eine Einführung in die Elektrotechnik, Fachbuchverlag Leipzig
sowie die einzelnen Jahrgänge der Zeitschrift „funkamateur".

Unsere Reihe

Der junge Funker

wird fortgesetzt mit folgenden Heften:

Oettel	**Transistormorsegeräte** Bauanleitungen für Anfänger und Fortgeschrittene
Käss	**Wir lernen morsen**
Schubert	**Mit Transistor und Batterie**
Jakubaschk	**Transistortechnik leichtverständlich**



Deutscher Militärverlag

DEUTSCHER
MILITÄR-
VERLAG

